Perché siamo una specie diversa da tutte le altre

Le Scienze

Novembre 2018

€ 4,90

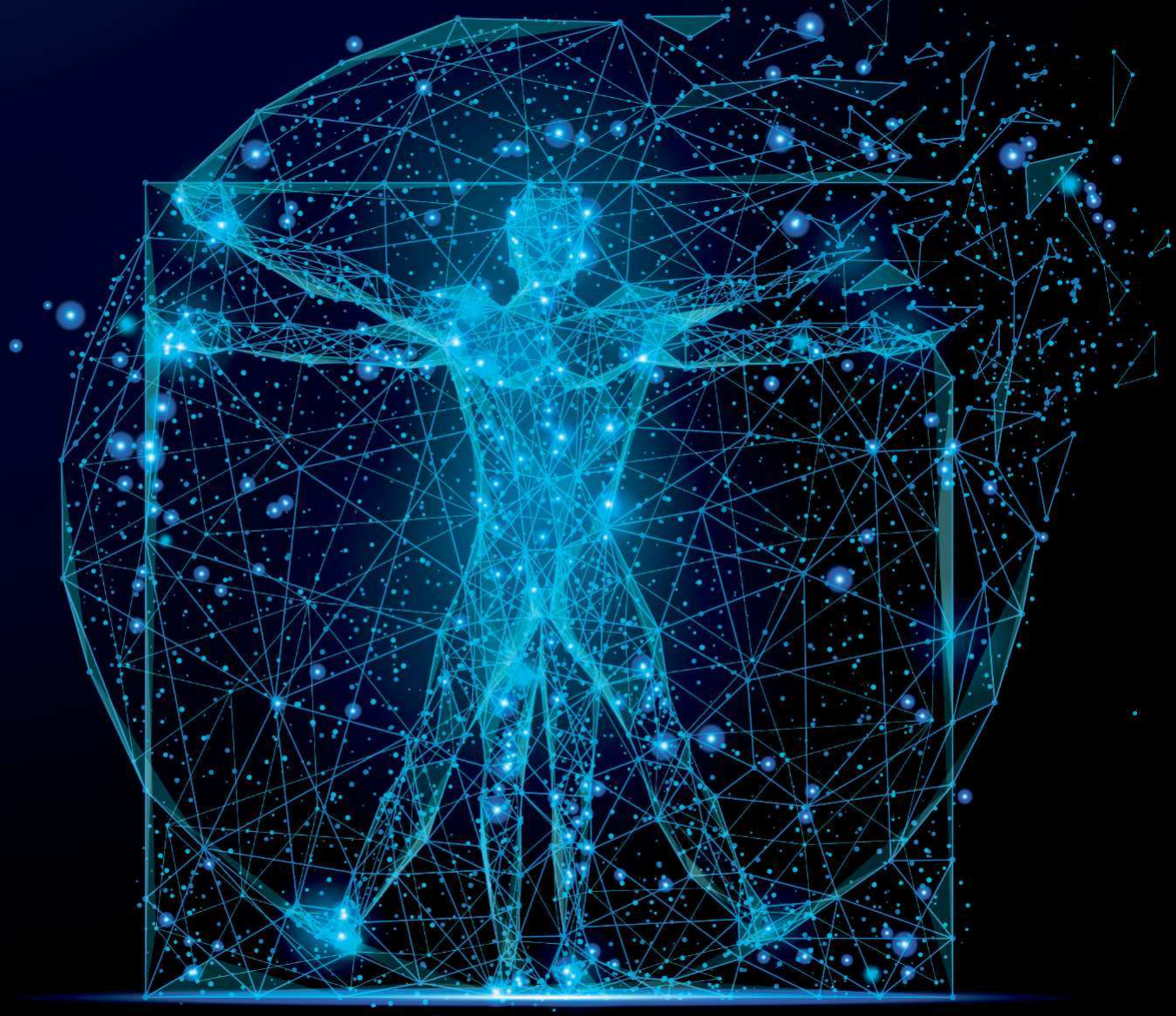
www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

NUMERO SPECIALE

Essere umani

Dal linguaggio alla coscienza, dalla tecnologia alla guerra, come un solo animale è riuscito a plasmare il pianeta



POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA
RIVISTA MENSILE - NUMERO 603 - 1 NOVEMBRE 2018

Se cerchi il giusto partner per il tuo business. Questa è la tua Focus. Co-Pilot.

Equipaggiata con i sistemi di **assistenza alla guida** più evoluti, Nuova Ford Focus Co-Pilot rivoluzionerà la tua esperienza al volante. Le tecnologie del Ford **Co-Pilot Pack** in combinazione con il **cambio automatico a 8 rapporti** si occuperanno di regolare la velocità secondo i limiti rilevati dalla segnaletica stradale, gestire la frenata e la ripartenza secondo le condizioni del traffico e mantenere la vettura al centro della corsia, anche in curva. Tutto questo riducendo emissioni, consumi e costi di gestione.

CON NOLEGGIO FORD BUSINESS PARTNER

€ 265 al mese

Anticipo € 5.000
IVA ESCLUSA

SERVIZI INCLUSI

· Bollo · Assicurazione RCA · Copertura Kasko - Furto - Incendio
· Assicurazione infortuni sul conducente · Manutenzione ordinaria e straordinaria · Assistenza stradale · Gestione sinistri

Provala in anteprima con il programma **TRY AND DRIVE**.
Scopri di più su fordbusiness.it o chiama il numero verde **800.22.44.33**

Ford
Go Further

Offerta valida fino al 30/11/2018 su Focus Business Co-Pilot 1.5 TDCi EcoBlue 120 CV Automatica, grazie al contributo dei Ford Partner che aderiscono all'iniziativa. Offerta Noleggio a Lungo Termine – Ford Business Partner: 36 mesi/60.000 Km, anticipo € 5.000. Il canone mensile comprende: Immatricolazione e Bollo, Assicurazione RCA (massimale 26mln, franchigia € 250), Copertura Furto (franchigia 10% su Eurotax Blu) Kasko/Incendio (Franchigia € 500), PAI assicurazione infortuni sul conducente (massimale € 150.000 franchigia 3%), Manutenzione Ordinaria e Straordinaria, Assistenza Stradale, Gestione Sinistri. Spese apertura pratica € 150 addebitate con il primo canone. Gli importi riportati sono calcolati sul valore medio assicurato e potranno subire scostamenti. Salvo approvazione. Ford Business Partner è un marchio di FCE Bank plc. ALD Automotive Italia srl per Ford Business Partner. Le vetture in foto possono riportare accessori a pagamento. **Ford Focus: consumi da 3,5 a 5,9 litri/100 km (ciclo misto); emissioni CO2 da 91 a 138 g/km.**

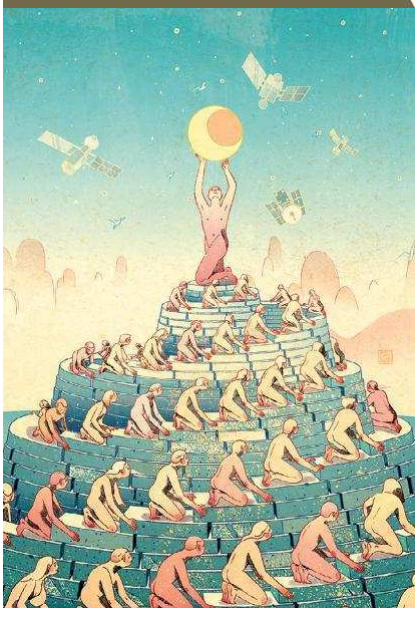
IN COPERTINA

Un cervello più grande rispetto a quello delle specie umane estinte, capacità sociali sofisticate e il linguaggio sono tra i fattori che hanno determinato il nostro successo e la capacità di plasmare il mondo. (Anton Khrupin/Shutterstock)

Sommario

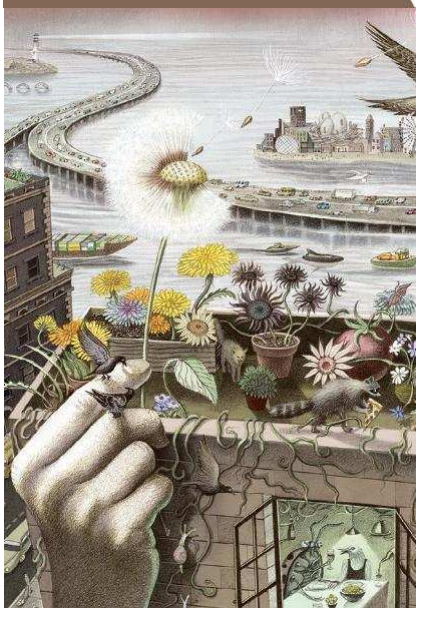
novembre 2018 numero 603

PERCHÉ NOI? 28



NOI E LORO 60

DOPO DI NOI 78



PERCHÉ NOI?

28 L'evoluzione della nostra unicità
di Kevin Laland
Come siamo diventati un altro tipo di animale

36 Tecno sapiens
di Lewis Dartnell
Un'analisi dei componenti del motore a combustione interna rivela il nostro genio collettivo

38 Dentro le nostre teste
di Thomas Suddendorf
Due tratti chiave all'origine della mente umana

44 Il problema più difficile
di Susan Blackmore
L'enigma della coscienza umana

50 Parole che scavalcano il tempo
di Christine Kenneally
Che cosa c'è di unico nel linguaggio umano?

56 I circuiti del cervello umano sono speciali?
di Chet C. Sherwood
Parti del cervello coinvolte nel linguaggio e nel pensiero astratto si sono ampliate parecchio nel corso dell'evoluzione

NOI E LORO

60 L'ultimo rimasto
di Kate Wong
Perché *Homo sapiens* è stato l'unico a sopravvivere fino a oggi?

66 L'origine della moralità
di Michael Tomasello
Come abbiamo imparato a mettere il nostro destino nelle mani degli altri

72 Perché combattiamo
di R. Brian Ferguson
Dopotutto, la guerra potrebbe non essere nella nostra natura

DOPO DI NOI

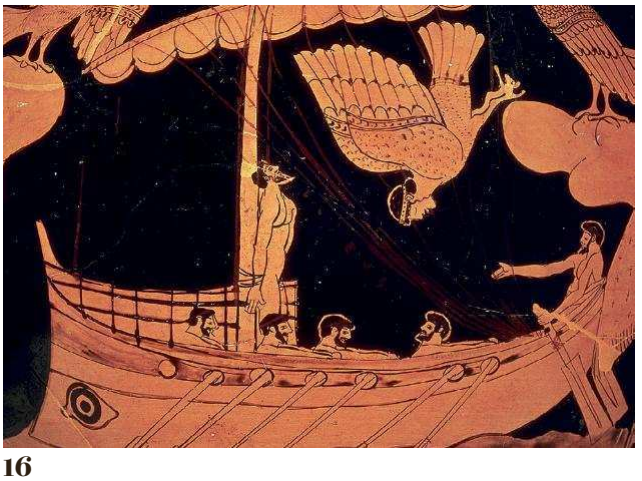
78 Darwin in città
di Menno Schilthuizen
Con le loro attività gli esseri umani stanno cambiando il corso dell'evoluzione

84 Le nostre controfigure digitali
di Pedro Domingos
L'IA servirà la nostra specie, non la dominerà

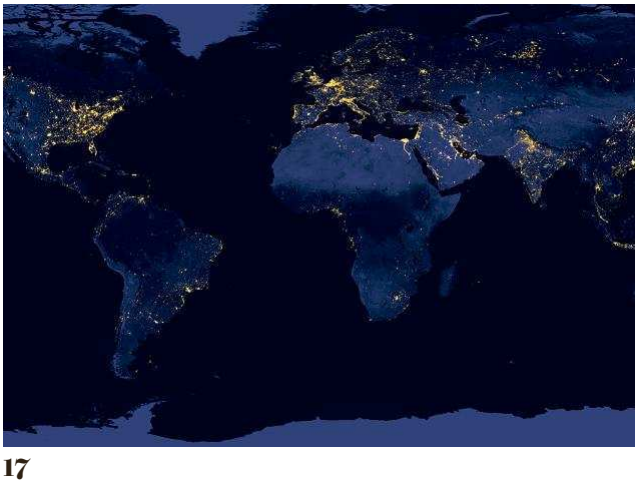
90 Soli nella Via Lattea
di John Gribbin
Perché probabilmente siamo l'unica vita intelligente della nostra galassia

Illustrazioni di Victo Ngai (*a sinistra*); Yuko Shimizu (*al centro*); Armando Veve (*a destra*)

Sommario



16



17

18

Rubriche

7 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

8 **Anteprima**

10 **Intervista**
Una vita per la fisica e il disarmo *di Silvia Bencivelli*

12 **Made in Italy**
Controllare la malaria (e non solo) *di Letizia Gabaglio*

15 **Scienza e filosofia**
Statistica e oggettività *di Elena Castellani*

16 **Il matematico impertinente**
Tenere la rotta *di Piergiorgio Odifreddi*

17 **La finestra di Keplero**
Il lato intelligente degli alieni *di Amedeo Balbi*

18 **Homo sapiens**
Perché i Neanderthal si sono estinti? *di Giorgio Manzi*

96 **Coordinate**
Trecento occhi sulla Corea del Nord *di Katie Peek*

97 **Povera scienza**
Embargo scientifico senza misteri *di Paolo Attivissimo*

98 **La ceretta di Occam**
Che paura quella luce blu *di Beatrice Mautino*

99 **Pentole & provette**
Il sangue non fa la dieta *di Dario Bressanini*

100 **Rudi matematici**
Che la scopa sia con voi
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

102 **Libri & tempo libero**

SCIENZA NEWS

19 Una nuova conferma per l'Higgs

20-21 Nobel:
Il ritorno delle donne, finalmente
- La fisica del laser e una questione di genere
- Togliere i freni al sistema immunitario per aggredire i tumori
- L'evoluzione al potere

22 Materia in caduta diretta in un buco nero

22 Come ruotano le stelle

24 La «pasta nucleare» delle stelle di neutroni

24 Droni che volano come api

25 Scoperte le staminali scheletriche

25 Nuove prove di un antico codice genetico per la simmetria dei corpi

26 Brevissime

Leemage/UIG via Getty Images (*vaso greco*); Cortesia NASA/NOAA NGDC/Suomi-NPP/Earth Observatory; elaborazione dati: Chris Elvidge e Robert Simmon (*mappa*); Mike Kemp/In Pictures via Getty Images (*Homo neanderthalensis*)

Con il patrocinio della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO

REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORADU DE SU TURISMU, ARTESANIA E COMMÉRTZIU
ASSESSORATO DEL TURISMO, ARTIGIANATO E COMMERCIO
ASSESSORATO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE
BENI CULTURALI, INFORMAZIONE, SPETTACOLO E SPORT

SARDEGNA

CITTÀ METROPOLITANA DI CAGLIARI

COMUNE DI CAGLIARI
ASSESSORATO CULTURA, PUBBLICA ISTRUZIONE E SPETTACOLO

CAGLIARI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Organizzato e promosso da Scienza Società Scienza Associazione

FestivalScienza

CAGLIARI

Scienza e risorse

8 - 13 novembre 2018

EXMA EXHIBITING AND MOVING ARTS **Cagliari,** *via San Lucifero 71*

Prenotazioni ONLINE: *dal 1 ottobre 2018*

Info e prenotazioni: *prenotazionifsc@gmail.com*
T. 366 256 28 01 dal lunedì al sabato, ore 10-13 e 16-19

www.festivalscienzacagliari.it

Altre sedi del FestivalScienza *2018*

ORISTANO	OLIENA	SARCIDANO	IGLESIAS
14-16 novembre	20-22 novembre	23-25 novembre	29 novembre-1 dicembre

Fondazione di Sardegna · CTM spa · Sardegna Ricerche · INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare · OAC Osservatorio Astronomico di Cagliari · CRS4 · Fo.Re.S.T.A.S.

Si ringraziano le case editrici Altreconomia, Carocci, Chiarelettere, Edizioni Dedalo, Imprimatur, La Feltrinelli, Salani ed Editoriale Scienza e inoltre PubbliA e Orso Babà

MEDIA PARTNER
L'UNIONE SARDA · VIDEOLINA · radiolina

Concept vincente di **Federica Santoro**
classe 4D Liceo artistico Brotzu di Quartu S. Elena

Sviluppo grafico e coordinamento visivo: Rinaldo Crespi

I graffiti di **Banksy** per raccontare le piante che assorbono farmaci.
Le calle di **Diego Rivera** per parlare di piante calde e sexy.
Andy Warhol e il pomodoro insapore del supermercato.
Karl Blossfeldt e **Hokusai** che illustrano il futuro della botanica.

RENATO BRUNI

MIRABILIA

La botanica nascosta nell'arte

288 pagine | 28,00 euro

Volume illustrato a colori
18 opere d'arte

IN LIBRERIA DALL'8 NOVEMBRE

ARTE E SCIENZA INSIEME PER RACCONTARE
UN MONDO NUOVO E INESPLORATO.

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codice_codice
instagram.com/codice_codice

codice
EDIZIONI

di Marco Cattaneo

Una storia speciale

Luci e ombre del successo della nostra specie

Sette miliardi cinquecentoventisei milioni novecentoquindicimila settecentocinquantadue. Sono le 17.40 del 16 ottobre, quando osservo scorrere rapido il contatore della popolazione mondiale dello US Census Bureau. Ce ne sono molti di contatori *on line* che stimano la crescita della popolazione, e sono tutti diversi tra loro. Tutti però hanno felicemente tagliato il traguardo dei 7,5 miliardi.

Non era mai accaduto prima su questo pianeta – e per quel che ne sappiamo nemmeno su altri – che un predatore di vertice come noi, un mammifero di dimensioni così vistose, raggiungesse una popolazione così spaventosamente alta. E questo è il meno, a ben vedere. Siamo tanti perché siamo stati in grado di occupare ogni nicchia ecologica e di organizzarci in società straordinariamente complesse e stratificate per compiti e ruoli. Abbiamo inventato l'agricoltura, l'allevamento, l'industria, una tecnologia capace di spedire sonde oltre i confini del sistema solare e lingue articolate per trasmetterci le informazioni e tramandarci le culture. Abbiamo costruito città e infrastrutture che avvolgono il globo come la trama di un tessuto. In una parola, quello che chiamiamo civiltà.

È naturale farci una domanda. Che diavolo abbiamo di diverso dagli altri animali? Perché solo *Homo sapiens* è stato capace di esprimere Galileo, Shakespeare, Mozart? I nostri cugini più prossimi, quelli che ci hanno accompagnato nel nostro viaggio sulla Terra fino a poche decine di migliaia di anni fa, dai Neanderthal ai piccoli uomini di Flores, non ci sono arrivati nemmeno vicini, a un simile intrico di capacità. Per non parlare dei primati, comprese le scimmie antropomorfe.

È naturale, insomma, che ci chiediamo che cosa abbiamo di speciale, anche se non è tutto oro quel che luccica. Perché James Joyce ha prodotto l'*Ulisse*, ma Adolf Hitler ha scatenato l'inferno. E per un Picasso che dipingeva *Guernica* c'erano altri esseri umani che si macchiavano del sangue dei loro simili.

È a noi umani che dedichiamo il numero speciale dei 50 anni di «Le Scienze», un monografico che parte dalle considerazioni sull'evoluzione biologica di *Homo sapiens* per esplorare quali siano le caratteristiche che ci differenziano dagli altri abitanti della Terra. Per approfondire l'unicità del linguaggio, l'origine del comportamento morale, l'evoluzione della tecnologia attraverso l'intelligenza collettiva, il

senso della guerra e persino il modo in cui influenziamo l'evoluzione degli altri. Fino a chiederci se ci siano altri esseri come noi in giro per la galassia.

Sette miliardi cinquecentoventisei milioni novecentoventiseimila centonove. Da quando ho iniziato a scrivere queste righe, la popolazione umana è aumentata di oltre 10.000 unità. È quasi il triplo della popolazione totale di tigri nel mondo. Abbiamo trasformato il pianeta per piegarlo alle nostre necessità. Più che adattarci, lo abbiamo plasmato a nostra immagine e somiglianza. Ma dovremmo capire una volte per tutte che le nostre incredibili capacità comportano altrettanto grandi responsabilità. Perché è l'unico che abbiamo.

aon168/iStock

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

Vinton Cerf
Chief Internet Evangelist, Google

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Richard Dawkins
fondatore e presidente, Richard Dawkins Foundation

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Kaigham J. Gabriel
presidente e CEO, Charles Stark Draper Laboratory

Harold Garner
direttore, divisioni sistemi e informatica medici, docente, Virginia Bioinformatics Institute, Virginia Tech

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Danny Hillis
co-presidente, Applied Minds, LLC

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Vinod Khosla
Partner, Khosla Ventures

Christof Koch
presidente dell'Allen Institute for Brain Science di Seattle

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Lawrence Lessig
docente, Harvard Law School

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore ordinario filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Eugenie C. Scott
Founding Executive Director, National Center for Science Education

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Shermer
editore, rivista «Skeptic»

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Jonathan Zittrain
docente di legge e computer science, Harvard University

Quando l'evoluzione accelera

A richiesta a dicembre *L'equilibrio punteggiato* di Stephen Jay Gould

Sessantacinque milioni di anni fa l'impatto di un asteroide con la Terra decretò la fine del regno dei dinosauri, favorendo l'inizio dell'ascesa dei mammiferi. Piccoli e in parte già diversificati in specie differenti tra loro, confinati da lunghissimo tempo in ristrette nicchie ecologiche, con una vita notturna e una dieta a base di insetti, grazie a una vera e propria manna dal cielo i mammiferi erano finalmente liberi di conquistare il mondo, svincolati (o quasi) dalla micidiale pressione selettiva che i dinosauri avevano esercitato fino al momento del catastrofico impatto. In poche centinaia di migliaia di anni, da quei nostri remoti antenati alla conquista di nuovi ambienti terrestri iniziarono a emergere specie di forme e dimensioni assai varie, in un fenomeno che oggi chiamiamo radiazione adattativa.

Questa storia è documentata in modo efficace dalla paleontologia, tuttavia in passato ha sconcertato gli scienziati. Fino agli anni sessanta, il quadro teorico più accreditato per l'evoluzione della vita sulla Terra a opera della selezione naturale descriveva il fenomeno evolutivo come lento e costante nel tempo. In altre parole, l'evoluzione era il risultato di lente modifiche nelle frequenze dei geni delle popolazioni, poi setacciate dalla selezione naturale. Ancora più sinteticamente, il cosiddetto gradualismo filetico affermava che il cambiamento evolutivo è appunto graduale e la comparsa di nuove specie non è improvvisa.

Questo era (ed è) vero; tuttavia la documentazione fossile suggeriva anche altro. In alcuni periodi della vita sulla Terra era come se l'evoluzione avesse accelerato, come se all'improvviso – un improvviso ovviamente tarato su tempi geologici, non su quelli nostri quotidiani – la frequenza di comparsa di nuove specie avesse sperimentato degli slanci, proprio come nel caso della radiazione adattativa dei mammiferi in seguito alla scomparsa dei dinosauri. Come era possibile dunque conciliare il gradualismo filetico con i dati paleontologici?

A risolvere il mistero tenendo conto di questo ulteriore grado di complessità nell'evoluzione furono due giovani paleontologi statunitensi tra la seconda metà degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta: Stephen Jay Gould e Niles Eldredge. Grazie anche a ricerche sul campo di forme di vita del passato remoto della Terra, nel 1972 i due proposero la teoria degli equilibri punteggiati, protagonista del libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di dicembre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni, in cui dimostravano che la storia della vita non è sempre stata scandita da un ritmo evolutivo uniforme. Certo, ci sono stati lunghi periodi di stasi, ma si sono verificate anche delle «punteggiature evolutive», cioè episodi di brusco cambiamento, dove ancora una volta per «brusco» bisogna riferirsi sempre alla scala dei tempi geologici.

La nuova teoria non fu accolta con tutti gli onori, anzi. Innescò un dibattito che in alcuni casi acquisì toni grotteschi con l'accusa di antidarwinista allo stesso Gould. Oggi però è accettata poiché i suoi due autori «riuscirono a proporre una teoria scientifica innovativa non aggiungendo nuove informazioni, ma riformulando le conoscenze già accumulate dalla loro disciplina e mal interpretate», come spiega Telmo Pievani nell'introduzione a *L'equilibrio punteggiato*, il libro del prossimo mese di «Le Scienze», in cui è lo stesso Gould, scomparso nel 2002, a illustrare fondamenti, dibattito e conseguenze della sua teoria. O, se preferite, a spiegare come è possibile che un topolino partorisca un elefante in un batter di ciglia: evolutivamente parlando, ovvio.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 9,00, incluso il prezzo di spedizione, telefonando al numero 0864.256266. La stessa offerta è valida per richiedere i volumi delle collane **I grandi della scienza a fumetti**, **I manga delle scienze** e **Esperimenti Scientifici**: in tutti e tre i casi gli abbonati possono acquistare i volumi al prezzo di € 9,90 incluse le spese di spedizione.

vicnt/iStock

Le forme dell'acqua

Questo mese a richiesta con la rivista l'ultimo volume di *Esperimenti scientifici*

Ultimo appuntamento con *Esperimenti scientifici*. In edicola con «Le Scienze» di novembre, a 9,90 euro in più oltre al prezzo della rivista potrete acquistare *Capire lo stato liquido*, volume in cui è protagonista l'acqua, una delle sostanze più importanti tra quelle presenti nell'universo in tutti i suoi stati, liquido, solido e gassoso, e fondamentale anche per la vita come la conosciamo, visto che il corpo umano è composto per circa il 60 per cento di acqua; motivo per cui gli scienziati vanno proprio alla ricerca di questa sostanza quando analizzano la composizione di pianeti di altre stelle: la sua presenza è un indizio favorevole, ma non definitivo, per la vita.

Grazie agli esperimenti illustrati sarà possibile capire quali forze agiscono nei vari stati in cui si presenta l'acqua, e come si comporta in presenza di altre sostanze. Per esempio impareremo a costruire bombe da bagno frizzanti, che oltre a spiegare reazioni acido-base daranno un tocco effervescente alla vasca da bagno. O ancora sarà possibile creare una stalattite che cresce giorno per giorno, come quelle che si trovano nelle grotte. E ricordatevi: scattate foto e realizzate video degli esperimenti, poi pubblicateli su Facebook taggando «Le Scienze» e aggiungendo l'hashtag #ilmioesperimento: i migliori saranno condivisi sulla nostra pagina Facebook.

PIANO DELL'OPERA

Esperimenti scientifici da fare all'aperto

GIUGNO
Giocare con la natura

LUGLIO
La potenza dell'acqua e dell'aria

AGOSTO
Le forze della Terra e del cielo

Esperimenti scientifici da fare in casa

SETTEMBRE
La chimica nel cibo

OTTOBRE
Costruire oggetti sensazionali

NOVEMBRE
Capire lo stato liquido

di Silvia Bencivelli

Una vita per la fisica e il disarmo

Francesco Calogero sta per ritirare un premio importante che non di rado ha anticipato un Nobel, che però il fisico ha già ricevuto ma non per le sue ricerche

Dannie Heineman era un ingegnere e un industriale: ai primi del Novecento creò le reti elettriche di mezza Europa e di mezza America, fu benefattore e filantropo delle scienze. La fondazione che istituì a proprio nome assegna ogni anno, dal 1959, un premio per la fisica matematica amministrato dall'American Physical Society. Lo hanno ricevuto dieci italiani: il primo fu Tullio Regge, nel 1964, il più recente sarà consegnato nel 2019 a Francesco Calogero, oggi professore emerito della «Sapienza» Università di Roma. Si tratta di un riconoscimento importante, prova ne sia che molti dei premiati hanno poi ricevuto anche il Nobel. Ma Calogero un premio Nobel lo ha già avuto nelle mani: quello per la pace, nel 1995. Ricapitoliamo.

Cortesia Calogero (*Calogero*); Xinhua/Photoshot/AGF (*annuncio in televisione*)

Qual è il lavoro per cui viene premiato?

Sono un fisico teorico e il risultato per cui mi premiano risale al 1971. Avevo cominciato con la fisica delle particelle ma ero presto passato alla fisica nucleare, che mi piaceva di più perché trattabile in maniera più rigorosa dal punto di vista matematico. In quell'ambito ho inventato un modello per tante particelle che interagiscono tra loro e che è suscettibile di una soluzione matematica esatta. Quasi contemporaneamente a me un collega statunitense ha costruito un modello analogo in meccanica statistica, ed è per questo che veniamo premiati insieme. Lui si chiama Bill Sutherland. C'è poi un terzo premiato, un collega francese: Michel Gaudin.

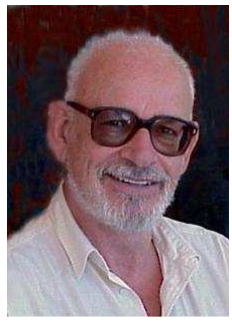
Il premio intitolato a Dannie Heineman è considerato un precursore del Nobel. Ma i premiati italiani sono stati molti, mentre col Nobel abbiamo avuto meno fortuna. Come si spiega?

La politica dei premi Nobel è imperscrutabile. Va detto che il Dannie Heineman Prize è un premio per la fisica matematica e i premiati sono tutti teorici, mentre il Nobel per la fisica più spesso viene dato ai fisici sperimentali. Comunque sì, ci sono stati due o tre casi clamorosi in cui il Nobel avrebbe dovuto essere dato a un italiano: il più scandaloso forse è stato quello di Nicola Cabibbo. O quello di Giovanni Jona-Lasinio: per il suo lavoro con Yoichiro Nambu, che era lo scienziato *senior*, è stato premiato solo Nambu. Ma lui stesso, ormai molto anziano, ha delegato proprio Jona-Lasinio a tenere la *Nobel Lecture* al suo posto!

Per quanto riguarda me: no, non credo di meritare, né ora né in futuro, il premio Nobel. Mentre forse il Dannie Haineman Prize, sì, lo merito. Come del resto lo meriterebbero anche molti altri colleghi.

Lei però un Nobel lo ha già ricevuto, in qualità di segretario generale delle Pugwash Conferences on Science and World Affairs, note più comunemente solo come Pugwash, un'orga-

CHI È



Francesco Calogero si è laureato in fisica alla «Sapienza» Università di Roma nel 1956, oggi è professore emerito nella stessa università.

Ha pubblicato più di 400 articoli scientifici e cinque libri. Il suo lavoro si è prevalentemente concentrato sui problemi a molti corpi e sui sistemi integrabili: ha introdotto alcuni modelli fisico-matematici esattamente risolubili tra cui il sistema Calogero-Moser.

Dal 1962 è anche impegnato nel disarmo nucleare: dal 1989 al 1997 è stato segretario generale delle Pugwash Conferences on Science and World Affairs (premio Nobel per la Pace 1995) ed è tuttora membro del Pugwash Council. È stato tra i fondatori dell'International School On Disarmament And Research on Conflicts (ISODARCO) e dell'Unione scienziati per il disarmo (USPID). Anche su questi temi ha pubblicato numerosi articoli e alcuni libri.

nizzazione di scienziati per il disarmo nucleare, che 1995 fu premiata con il Nobel per la pace insieme al suo fondatore Joseph Rotblat. Come ha cominciato a occuparsi di questi temi?

Per caso. Ero a Washington con mia moglie e i miei genitori nel momento cruciale della crisi dei missili sovietici a Cuba nel 1962. Ci stavamo avvicinando a una guerra nucleare.

Fino a quel momento mi ero interessato abbastanza poco di politica. Dopo quella esperienza ho dedicato parte del mio tempo al controllo delle armi nucleari, maturando una certa competenza e occupandomene attivamente. Per esempio mi sono impegnato nel dibattito in Italia sull'adesione al Trattato di non proliferazione nucleare, a fianco di Edoardo Amaldi. E dal 1989 al 1997 sono stato segretario generale del Pugwash.

Pessimismo e ottimismo. L'annuncio alla televisione di Stato nordcoreana di un test nucleare effettuato nel 2016. Sotto, Calogero (*sinistra*) e Rotblat, premiati con il Nobel per la pace nel 1995.

Cortesia Calogero

Da quel premio Nobel sono passati 23 anni e il mondo è cambiato. Serve ancora il Pugwash?

Serve ancora, certo. Dopo la fine della guerra fredda il Pugwash ha continuato a occuparsi di conflitti che potenzialmente possono coinvolgere armi nucleari, come quello tra India e Pakistan e in Medio Oriente. Lo ha fatto con il suo consueto basso profilo, e mi preme ricordare che adesso è segretario generale un altro fisico italiano: Paolo Cotta-Ramusino, dal 2002.

Dico basso profilo, ma sono azioni importanti: tre anni fa il Pugwash ha organizzato un incontro a Doha, in Qatar, tra una delegazione di talebani e alcuni membri del governo afgano. Era un incontro riservato però dopo due giorni il «New York Times» gli ha dedicato il suo principale articolo di fondo.

Ora con l'amministrazione Trump è tutto molto più difficile. Il Pugwash è una società civile di scienziati che dialoga con i governi. Con l'amministrazione precedente avevamo lavorato molto e bene: John Holdren, che è stato capo del comitato esecutivo del Pugwash, è stato per otto anni alla Casa Bianca come consigliere per la scienza e la tecnologia del presidente Barack Obama. Adesso le cose sono molto diverse.

I giovani scienziati partecipano al Pugwash?

A dire il vero il Pugwash non è nato per i giovani scienziati. È un'organizzazione di scienziati eminenti, forse io ero il meno eminente di tutti! E di altri esperti che possono avere influenza sulla politica. È così da sempre ed è stato chiaro soprattutto in Unione Sovietica: la rivoluzione di Mikhail Gorbaciov credo che ne sia stata influenzata in modo determinante.

Sempre in tema, in Italia lei ha fondato l'USPID, l'Unione degli scienziati per il disarmo.

Sì, l'USPID è un'organizzazione italiana nata nel 1982 sull'onda dell'attività degli scienziati sui cosiddetti euromissili [missili con testata nucleare a raggio intermedio che furono installati da Stati Uniti e Unione Sovietica sul territorio europeo alla fine degli anni settanta e contro i quali nacque un forte movimento pacifista, NdR]. Continuiamo a fare attività e ogni due anni organizziamo un convegno internazionale a Castiglioncello, in Toscana. Gli scienziati italiani sono tutto sommato consapevoli della necessità di un loro impegno. E sarebbe utile che qualcuno cercasse di educare i nuovi governanti: magari tra loro ci sono persone motivate con cui si può lavorare.

Infine, come vede la situazione politica globale attuale?

Sono pessimista e ottimista insieme. Credo che si arriverà all'eliminazione delle armi nucleari ma, forse, solo dopo una catastrofe. Lo pensavo già prima, ma con l'elezione di Trump mi pare che la tendenza verso la catastrofe si sia accentuata. Mentre sulla questione nordcoreana credo che non ci sarà alcun progresso. È un regime orrendo, con milioni di persone chiuse in campi di concentramento. Ma non credo che quella dittatura rinuncerà mai alle armi nucleari: per loro sono garanzia di sopravvivenza.

Il clima? Non sono competente in materia ma direi che gli effetti del riscaldamento si cominciano già a osservare, soprattutto nell'aumento dei fenomeni estremi.

di Letizia Gabaglio

Controllare la malaria (e non solo)

Biovecblok punta a sviluppare biocidi e nuovi strumenti per il controllo ecologico delle zanzare che trasmettono malattie come Zika, dengue o malaria

Alle nostre latitudini tutto sommato sono ancora solo insetti fastidiosi, la tassa da pagare per passare serate piacevoli in terrazzo o a cena fuori in primavera o estate. Ma in molte parti del mondo – dove vive metà della popolazione mondiale – le zanzare sono fra i pericoli principali per la salute pubblica, come ha sancito anche l'Organizzazione mondiale della Sanità.

A minacciare la vita di milioni di persone sono le malattie trasmesse da alcune specie di questi insetti, un sesto di tutte le patologie umane: malaria, dengue, febbre West Nile, chikungunya, febbre gialla, encefalite giapponese, encefalite LaCrosse, encefalite Saint Louis, Zika. Una minaccia che, peraltro, a causa della globalizzazione, della facilità degli spostamenti, dei fenomeni migratori di popolazioni e dei cambiamenti climatici, sta raggiungendo aree del pianeta dove prima era assente. Al lavoro per trovare soluzioni al problema zanzare ci sono quattro ricercatori italiani che all'Università di Camerino hanno fondato uno *spin-off*, Biovecblok, e grazie alle loro idee hanno già ricevuto premi e riconoscimenti a livello nazionale e internazionale.

Oltre gli OGM

Ma andiamo con ordine. «Il progetto nasce dall'unione delle competenze che io, Matteo Valzano e Paolo Rossi abbiamo acquisito durante il nostro percorso accademico nel laboratorio di parassitologia dell'Università di Camerino guidato da Guido Favia, e da quelle di Aurelio Serrao sulla fisiologia di questi insetti acquisite nel periodo di studi ad Harvard», racconta Claudia Damiani, presidente di Biovecblok. «Aurelio ha svolto alcuni mesi di ricerca qui da noi e poi ha conseguito il dottorato all'Università di Perugia. Subito dopo, però, è tornato a Camerino per fondare lo spin-off. A guidarci è stata la passione che abbiamo per quello che studiamo e la voglia di provare a sviluppare dei prodotti che possano essere utili, oltre che il desiderio di costruirci un futuro».

È il 2015 e i quattro si presentano con la loro idea – sfruttare un batterio capace di vivere dentro le zanzare per diminuire la pericolosità di questi insetti – alla StartCup delle Marche, vincendola. Atlas, questo il nome dell'insetticida naturale, ha una caratteristica innovativa: per la prima volta sono le stesse zanzare a diffondere la sostanza che le indebolisce: infatti il batterio è trasmesso sia orizzontalmente – durante l'accoppiamento – sia verticalmente alla progenie. «Siamo uno spin-off innovativo nel campo delle biotecnologie e le nostre ricerche puntano allo sviluppo di strumenti contro insetti vettori di varie malattie di interesse sanitario e agrario». Grazie ad Atlas, i ricercatori di Camerino hanno ottenuto la menzione «social impact» del Premio nazionale dell'innovazione e hanno partecipato, arrivando sul podio, alla Global Social Venture Competition a Berkeley, in California, la più importante competizione mondiale per progetti a impatto sociale.

LA SCHEDA

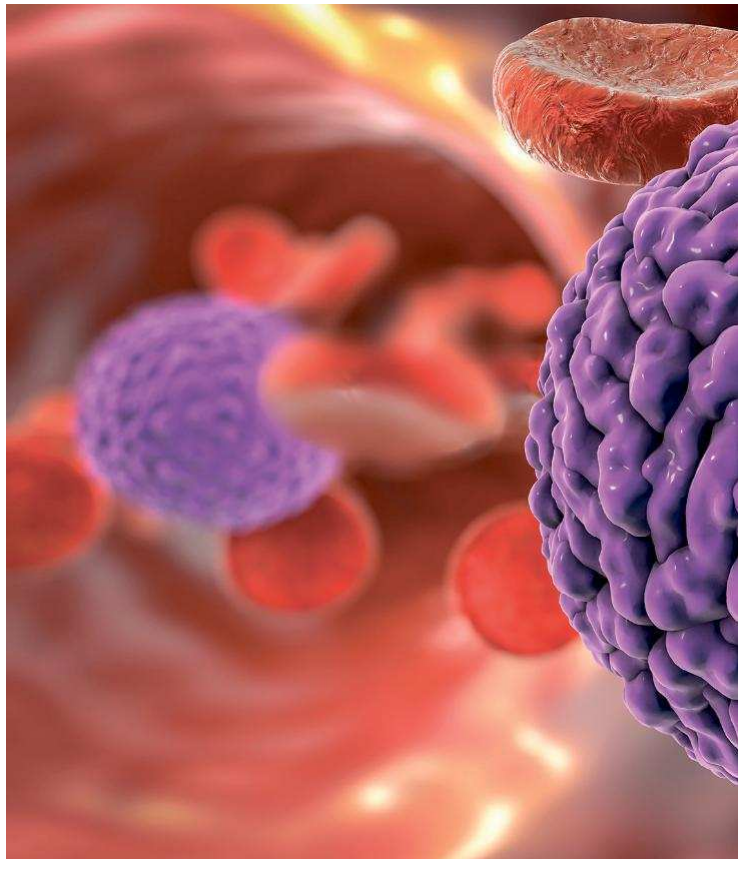
Biovecblok

Fatturato
n.d.

Investimenti in ricerca
n.d.

Dipendenti/collaboratori
n.d.

Brevetti rilasciati
2 in attesa

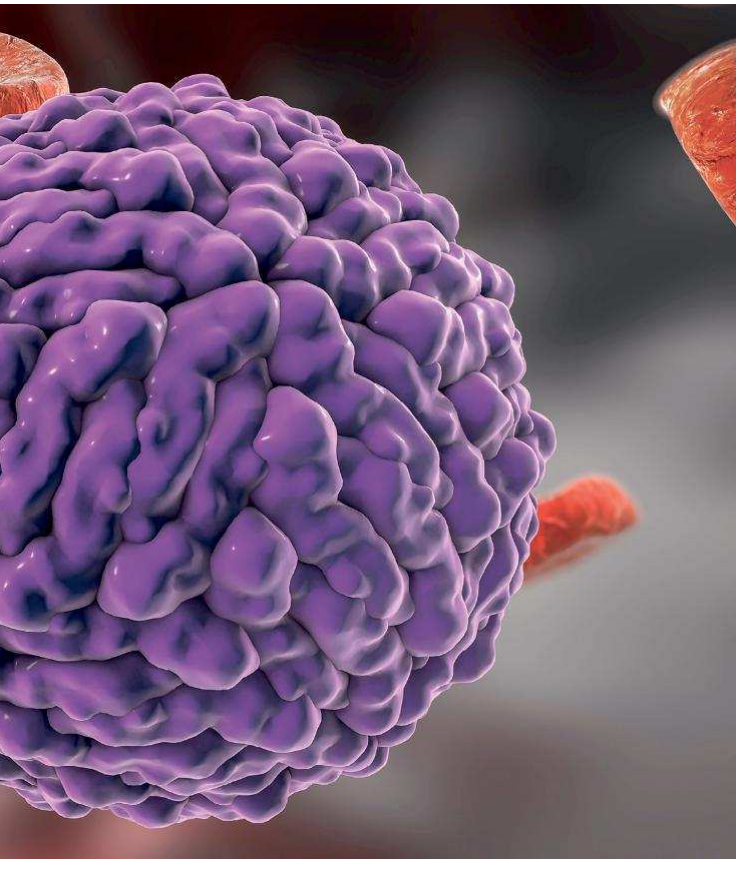


Kateryna Kon/SPL/AGF

«Erano 18 anni che l'Italia non arrivava sul podio, per noi è stata una grande soddisfazione», prosegue Damiani. «E in quell'occasione siamo stati invitati a visitare la sede dei laboratori della Gates Foundation a Seattle, dove sono sviluppati i progetti di ricerca finanziati dalla fondazione.»

Insomma, i primi anni di vita di Biovecblok sono pieni di soddisfazioni ma i biologi si rendono conto che la loro soluzione contro il problema delle zanzare potrebbe avere un difetto: Atlas è un

Sul podio.
Il premio ricevuto un anno fa dai ricercatori di Biovecblok alla Global Social Venture Competition a Berkeley, in California, la più importante competizione mondiale per progetti a impatto sociale. In basso al centro: illustrazione al computer del virus Zika, trasmesso da zanzare del genere *Aedes*.



Cortesia Biovecblok (*premiazione*)

biocida costituito da un batterio che vive nelle zanzare, innocuo per l'essere umano, geneticamente modificato per esprimere una molecola naturale che porta le zanzare infette a pungere meno e deporre meno uova. «L'introduzione di prodotti geneticamente modificati incontra difficoltà in tutto il mondo e quindi abbiamo pensato di tornare a studiare la biologia della zanzara per sviluppare un prodotto del tutto naturale», commenta Damiani.

Seguendo questo approccio l'azienda ha già sviluppato un larvicida e un repellente. In entrambi i casi Biovecblok ha presentato domanda di brevetto negli Stati Uniti e la risposta è attesa nell'arco di qualche mese. «Abbiamo scelto di depositare le domande negli Stati Uniti perché insieme a Brasile e India, gli Stati Uniti sono il paese che investe di più nella lotta alle zanzare», spiega Damiani. «Il nostro larvicida è naturale e nell'arco di due ore uccide tutte le larve e le pupe di zanzara. Il repellente, invece, sempre naturale, dagli esperimenti di laboratorio protegge per più di nove ore dalle specie di *Anopheles* che trasmettono malaria in Africa e nel Sudest asiatico, e fino a 6-7 ore dalle specie del genere *Aedes* che trasmettono tra gli altri il virus Zika e la dengue».

Ora l'azienda ha lanciato una campagna di *equity crowdfounding* tramite il portale Next Equity. «Vogliamo raccogliere almeno 300.000 euro per poter sostenere le spese per la copertura dei brevetti nei paesi di interesse. Per ora la raccolta è arrivata a 197.000 euro e terminerà il 30 novembre 2018».

Nel frattempo la loro attività non si ferma: per studiare gli insetti in un ambiente che sia il più possibile simile a quello dove vivono in natura nelle regioni tropicali e sub-tropicali del pianeta, i biologi di Camerino stanno costruendo nel comune di Muccia, in provincia di Macerata, una sorta di enorme insettario dove si possono effettuare esperimenti che mimano condizioni ambientali – luce, umidità, temperatura – che possono essere modificate in funzione delle diverse esigenze. «Sarebbe la prima in Europa e verrà usata non solo per le nostre ricerche ma noleggiata per conto terzi. La struttura sarà integrata con laboratori di biologia molecolare e microbiologia», conclude Damiani.

«Siamo convinti che il nostro centro di ricerca attrarrà una prestigiosa clientela internazionale rappresentata da gruppi di ricerca universitari interessati a testare i loro prodotti in condizioni di campo. Questa progettazione darà non solo prestigio all'Università di Camerino, ma creerà un indotto economico per la Regione Marche. In particolar modo potrebbe essere da impulso per la ripresa economica dell'alto maceratese, un territorio fortemente indebolito dal terremoto del 2016 che ha costretto al fallimento gran parte delle attività commerciali».

I quattro biologi fanno sul serio, perché contro uno dei nemici numero uno della salute pubblica mondiale non c'è da scherzare.

Salva il futuro dell'Italia che ami.
Iscriviti al FAI.

Villa dei Vescovi
Luvigliano di Torreglia (PD)

TESSERA FAI 2018

Con la tessera FAI contribuisci
a proteggere il patrimonio italiano
di arte e natura e ti regali 365 giorni
di **sconti fin oltre il 50%** in 1.500 enti
tra musei, mostre, dimore storiche,
teatri e giardini in tutta Italia.

Porta sempre con te la tessera FAI

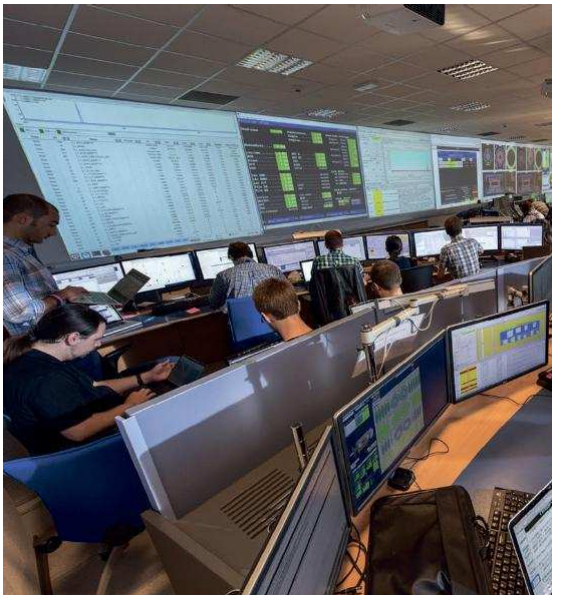
www.iscrivitialfai.it

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

Statistica e oggettività

Il mito della quantità e il rischio di un utilizzo viziato dei dati

Una questione tradizionalmente dibattuta in ambito epistemologico è quella dell'oggettività dei dati su cui fondare inferenze. Non è una novità che i dati d'esperienza siano «carichi di teoria», per usare ancora una volta la famosa espressione introdotta dal filosofo della scienza Norwood Hanson in *Patterns of Discovery* (1958) e notoriamente ripresa da Thomas Kuhn pochi anni dopo. Il vero problema, però, non riguarda in realtà il carattere «non neutrale» dei dati, cioè il fatto che scelta, raccolta e interpretazione dei dati possano essere condizionate da molteplici fattori, tra cui, tipicamente, valori e credenze condivise dalla comunità di riferimento, oltre a tecniche, materiali e ambiti di osservazione a disposizione. Questo tipo di problema, infatti, è di solito abbastanza facile da gestire. Dal punto di vista della pratica scientifica, si tratta di aspetti di cui si deve in effetti tener conto, ma che si sanno in genere governare, grazie anche alle metodologie di controllo che sono state sviluppate. Così, se lasciamo da parte la questione posta dai cosiddetti *big data*, che costituiscono un nuovo tipo di problematica da trattare a parte (se ne è parlato nella rubrica di gennaio 2015), per quanto riguarda i dati raccolti come base inferenziale per considerazioni statistiche – con la dovuta attenzione alle specificità dei diversi campi d'indagine – si può essere abbastanza tranquilli riguardo al loro carattere di oggettività.



Cacciatori di particelle. La sala di controllo dell'esperimento ATLAS al CERN di Ginevra.

Quello che invece sembra un po' più problematico, a volte, è l'uso che di questi dati viene fatto. Un esempio banale ma che condiziona pesantemente da qualche tempo la vita dei ricercatori è fornito dai dati bibliometrici nella valutazione del merito. Si tratta di dati che sono di per sé oggettivi, in quanto di natura quantitativa: in sostanza, sono fondati sul numero di citazioni ricevute dai lavori pubblicati da un ricercatore in un certo arco di tempo. Ma un dato di questo tipo richiede correttivi, o almeno cautele, nell'uso che ne viene fatto. Per esempio, è problematico che il motivo per cui un lavoro viene citato sia ininfluente: il dato conta nello stesso modo sia che il lavoro venga citato in senso positivo sia che venga citato per criticarlo. Ci sono lavori pessimi, o anche sbagliati, che sono stati stracitati proprio perché esempi negativi. Questo è solo uno dei tanti *bias* che affliggono l'uso dei dati bibliometrici. In realtà, c'è consapevolezza di questi rischi nella comunità scientifica (intesa in senso lato), per quanto questo poi non serva tanto a ridurne o almeno a controbilanciarne in modo adeguato gli effetti negativi. Ma c'è anche chi non sembra condividere questa consapevolezza, come dimostra il caso recente d'una singolare argomentazione fondata proprio su un uso discutibile di statistiche bibliometriche.

Il caso è il seguente: in occasione del primo *workshop* del CERN dedicato alle questioni di genere nell'ambito della fisica delle alte energie, il fisico Alessandro Strumia ha tenuto il 28 settembre un intervento dal titolo *Bibliometric data about gender issues in fundamental theory* che ha fatto grande scalpore, finendo anche sui mezzi di comunicazione e suscitando molta indignazione. In sostanza, Strumia usa determinati dati bibliometrici per argomentare che, contro l'opinione corrente, sono piuttosto gli uomini, anziché le donne, a essere discriminati. I dati statistici su cui si basa dimostrerebbero l'indiscutibile inferiorità di rendimento delle donne nella fisica fondamentale, che però verrebbero poi favorite lo stesso. Si noti che nel suo intervento gli scienziati sono «pesati» e implicitamente valutati primariamente in base ai dati bibliometrici.

A Strumia ha già risposto in modo autorevole e critico il CERN (https://home.cern/cern-people/opinion/2018/10/promoting-gender-equality-theoretical-physics) e la comunità dei fisici delle alte energie (https://www.particlesforjustice.org). Come è messo in rilievo, Strumia incorre proprio nell'errore di un uso viziato e strumentale dei dati statistici. Questo è evidente quando, in modo davvero poco elegante, porta come esempio di discriminazione a danno del genere maschile il proprio caso personale di un concorso che non ha vinto. E qual è il punto sostanziale del suo argomento? Che la candidata, poi risultata vincitrice aveva un numero inferiore di citazioni. Numero e modalità di citazioni che poi, si noti bene, dipendono sensibilmente dalla comunità di riferimento: i fisici che lavorano a stretto contatto con esperimenti come quelli del CERN hanno, per forza di cose, quantità di citazioni ben diverse dai fisici teorici meno collegati alle grandi collaborazioni. E questo Strumia lo dovrebbe sapere bene.

Cortesia Silvia Biondi/Matteo Franchini/CERN

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

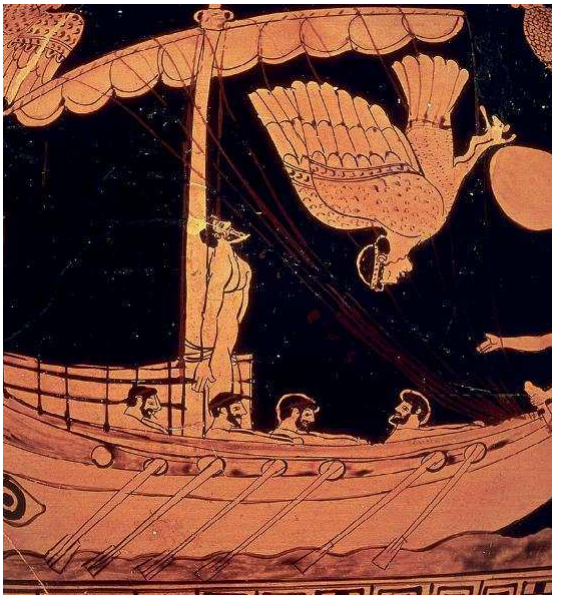
Tenere la rotta

Come tradurre curve sferiche in rette piane sulle carte di navigazione

Nel V canto dell'*Odissea,* Ulisse torna finalmente a casa navigando dall'isola di Ogigia, dov'era vissuto per sette anni con la ninfa Calipso, all'isola di Itaca, dove la moglie Penelope lo attende da vent'anni. In una dozzina di versi Omero fornisce con precisione i dati del viaggio, dicendo che l'eroe naviga per 18 giorni tenendo prima gli occhi fissi alle Pleiadi e poi «al tardo a tramontar Boote», e lasciandosi sempre a sinistra l'Orsa «che sola nel liquido Ocean sdegna lavarsi».

La strana rotta era dovuta al fatto che Ulisse, al calar della notte, poteva prima seguire le Pleiadi. Poi, quando tramontavano, poteva rivolgersi verso Arturo nella costellazione di Boote, che rimaneva visibile più a lungo: la rotta corretta era dunque compresa fra questi due estremi. Quando anche Arturo spariva, per il resto della notte Ulisse seguiva l'indicazione di massima di tenere a sinistra l'Orsa: essendo nell'emisfero settentrionale, questo gli permetteva di continuare a navigare da ovest a est.

Il brano di Omero mostra quanto fosse difficile navigare nell'antichità seguendo solo le stelle: in particolare, al tramonto Ulisse procedeva a zig zag, di notte aveva solo un'indicazione di massima, e di giorno doveva cercare di andare da ovest a est in base al Sole. Ovviamente, tutto cambiò con l'arrivo della bussola, e il primo a proporre di seguire una rotta con un angolo costante rispetto alla direzione del nord magnetico fu il portoghese Pedro Nunes, nel *Trattato in difesa delle carte nautiche* del 1537.



Tentazioni. Ulisse incontra le sirene durante il suo viaggio in mare, particolare di un vaso del 480-470 a.C.

Come mostra già il titolo della sua opera, il problema da risolvere era di tipo cartografico: si dovevano cioè disegnare carte geografiche che traducessero le curve sferiche a inclinazione costante rispetto al nord in rette piane sulla carta. In particolare, benché i meridiani convergano tutti nei due poli, essi si sarebbero dovuti rappresentare invece come rette parallele.

Ci sono molti modi di soddisfare questa condizione. Per esempio, basta avviluppare un foglio attorno all'equatore di una sfera, e proiettarne la superficie sul foglio dal centro della sfera: in tal caso si ottiene però una carta cilindrica infinita. Oppure, si può proiettare la superficie sul foglio perpendicolarmente all'asse dei poli: in tal caso però uno stesso segmento sulla sfera viene poco distorto se è vicino all'equatore, e molto se è vicino ai poli.

La soluzione vincente, ai fini della navigazione, fu quella proposta da Mercatore nel 1569, che modificava gradualmente la scala della distorsione via via che ci si avvicinava ai poli, in modo da far effettivamente corrispondere le linee rette che congiungono due punti sulla carta alle linee curve sulla sfera che formano sempre lo stesso angolo rispetto ai meridiani. Queste linee spiraliformi si chiamano lossodrome (da *loxos*, «curvo», e *dromos*, «percorso»): ne sono esempi particolari, oltre ai meridiani e ai paralleli, le bucce d'arancia tagliate tenendo appunto il coltello ad angolo costante rispetto all'asse.

In generale, però, le linee più brevi che collegano due punti non sono gli archi di lossodroma, ma gli archi dei cerchi massimi (come i meridiani e l'equatore). In particolare, se due punti stanno su uno stesso parallelo, come New York e Napoli, seguire il parallelo è comodo per la navigazione marina con la bussola, ma non è la via più breve: infatti gli aerei seguono una rotta che se ne allontana, e che appare stranamente incurvata sulla carta.

Le lossodrome esistono anche su superfici curve diverse dalla sfera. Per esempio, su un toro, per un punto passano due cerchi (un parallelo e un meridiano) perpendicolari fra loro: uno sul piano parallelo all'equatore del toro, e l'altro sul piano perpendicolare e passante per il centro. Ma ne esistono anche altri due, detti cerchi di Villarceau, che sono appunto le lossodrome che intersecano i paralleli e i meridiani ad angolo costante. Tagliando il toro lungo queste lossodrome si ottengono spicchi da cui sono derivati quelli usati nella prima metà del Quattrocento da Brunelleschi per la cupola dodecaedrica a ombrello della Cappella Pazzi a Firenze.

Ma le migliori espressioni artistiche della lossodroma le ottenne Escher, in una serie di opere degli anni cinquanta. Prima, in maniera matematicamente più approssimata, in *Rind* (1955), *Legame d'unione* (1956) e *Vortici* (1957). E poi, in maniera matematicamente più precisa, in *Spirali sferiche* (1958) e *Superficie sferica con pesci* (1958), a conferma del suo interesse anche per gli aspetti meno noti della matematica.

Leemage/UIG via Getty Images

di Amedeo Balbi
Professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata». Il suo ultimo libro è *Dove sono tutti quanti?* (Rizzoli, 2016)

Il lato intelligente degli alieni

La vita su altri pianeti potrebbe essere scoperta grazie a segnali di natura tecnologica

A fine settembre ho partecipato a un incontro voluto dalla NASA per fare il punto sullo stato attuale, e soprattutto sulle direzioni future, della ricerca di *technosignatures*, ovvero quei segni, o segnali, che, se osservati, ci permetterebbero di dedurre l'esistenza di altre specie tecnologiche nell'universo. La notizia è dunque che la NASA (su sollecitazione del Congresso degli Stati Uniti) rientra in gioco in un campo che aveva abbandonato ormai dal lontano 1993, quando (sempre dietro richiesta del Congresso) aveva cancellato il proprio programma per la ricerca di vita intelligente, o SETI. È un cambio di rotta importante, che potrebbe avere ripercussioni non trascurabili sugli scenari scientifici futuri.

D'altra parte, le cose sono cambiate parecchio nei 25 anni passati. Intanto, c'è stata la rivoluzione degli esopianeti, con la scoperta di migliaia di mondi in orbita attorno ad altre stelle della nostra galassia (una buona parte dei quali scovati proprio da una missione della NASA, il telescopio spaziale Kepler). Molti di questi mondi presentano condizioni potenzialmente compatibili con la vita così come la conosciamo. Grazie al miglioramento delle tecniche di osservazione, nei prossimi anni potremo cercare direttamente tracce di vita fuori dal nostro sistema solare. E allora, perché non aggiungere ai segni di potenziale attività biologica da osservare in futuro (per esempio la presenza di ossigeno o metano nell'atmosfera) anche quelli prodotti da specie viventi dotate di capacità tecnologiche?

Il che si collega a un altro mutamento importante: la ricerca di vita intelligente nell'universo non è più quella di sessant'anni fa, quando il radioastronomo Frank Drake iniziò a esplorare la possibilità di captare segnali radio provenienti da stelle vicine al Sole che potessero essere prodotti dall'attività (intenzionale o meno) di civiltà tecnologicamente avanzate. Negli ultimi anni, molti studi hanno proposto nuove idee per allargare il campo dei segnali tecnologici rilevabili a distanza attraverso le osservazioni astronomiche. Oltre a quelli radio ci sono i segnali ottici, per esempio gli impulsi luminosi prodotti da potenti laser (usati intenzionalmente come fari, oppure generati per alimentare vele spaziali a propulsione elettromagnetica). È stata ipotizzata la possibilità di osservare i gas rilasciati nell'atmosfera degli esopianeti dall'attività industriale (come i famigerati gas serra prodotti dai combustibili fossili, o i clorofluorocarburi), o i segni di illuminazione artificiale su scala planetaria, oppure il cambiamento nelle proprietà di riflessione della superficie degli esopianeti dovuta alla presenza di vasti pannelli solari. C'è infine l'eventualità che civiltà molto più avanzate della nostra possano imbarcarsi in progetti di ingegneria planetaria in grado di alterare drasticamente l'ambiente del proprio sistema stellare: come nel caso delle gigantesche sfere ipotizzate dal fisico Freeman Dyson, costruite attorno a una stella in modo da raccogliere tutta l'energia che essa rilascia nello spazio.

Una possibilità del genere è stata contemplata qualche anno fa per spiegare le anomalie nelle osservazioni della stella KIC 8462852. Quelle anomalie sono state in seguito attribuite con maggiore probabilità alla presenza di nubi di polvere attorno alla stella: ma il caso KIC 8462852 è stato un assaggio di quello che potrebbe accadere ancora, via via che le osservazioni aumenteranno in quantità e qualità.

D'altra parte, se cerchiamo la vita nell'universo sarebbe sciocco fare distinzioni tra vita intelligente e no. I segni di attività tecnologica sono una naturale estensione di quelli dovuti all'attività biologica, e come tali vanno trattati e cercati. E il fatto che la NASA abbia deciso di vederla in questo modo è senza dubbio una buona notizia.

Luci nel buio. Segni di illuminazione artificiale come quelli che si osservano sulla Terra durante la notte potrebbero indicare la presenza di vita intelligente su pianeti di altri sistemi stellari.

Cortesia NASA/NOAA NGDC/Suomi-NPP/Earth Observatory; elaborazione dati: Chris Elvidge e Robert Simmon

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Perché i Neanderthal si sono estinti?

Alcune ricerche forniscono indizi su un enigma affascinante della paleoantropologia

Neanderthal è bello, ma anche ... controverso. Non c'è dubbio che i Neanderthal vadano di moda, da qualche tempo e forse da sempre. Da quando cioè, a metà dell'Ottocento, venne scoperto il primo scheletro nell'omonima valle in Germania e venne denominato *Homo neanderthalensis*, non senza un primo diluvio di polemiche e pareri contrapposti.

Anche di recente è ricchissima la letteratura scientifica su questa specie umana estinta e sul fatto che piccole porzioni del loro DNA siano ancora in noi. C'è pure una quantità di articoli e libri di divulgazione, documentari e trasmissioni televisive che ne parlano. Ma poi c'è sempre quella domanda che viene da qualcuno fra il pubblico: come e, soprattutto, perché i Neanderthal si sono estinti?

Ho selezionato tre articoli pubblicati a cavallo dell'estate scorsa su riviste specialistiche e che ci permettono di fare qualche riflessione sul tema. Il più recente (ottobre) riguarda ricerche effettuate all'Università di York, nel Regno Unito, e pubblicate su «Quaternary Science Reviews». Già il titolo dell'articolo è intrigante: *Living to fight another day* (Vivere per combattere un giorno ancora). Vi si afferma, dati alla mano, che i Neanderthal praticavano forme di «assistenza sanitaria», come nel caso di lesioni gravi subite da individui del gruppo o in relazione alle difficoltà del parto. Vivevano in piccoli gruppi, quindi la perdita anche di una sola vita poteva essere decisiva per la sopravvivenza dell'intera comunità. Se pensiamo ai rischi quotidiani insiti nella caccia e, in genere, nella ricerca del cibo, così come nel dare alla vita un neonato dal cranio voluminoso, non sorprende che i Neanderthal (e, aggiungerei, nel Paleolitico non solo loro) abbiano sviluppato pratiche per migliorare la salute e ridurre il rischio di mortalità.

Un altro articolo, pubblicato a luglio su «Nature Ecology & Evolution», riporta quelle che gli autori ritengono le più antiche e non ambigue lesioni da caccia documentate nella storia dell'umanità. Sono state scoperte sugli scheletri di due daini estinti di grandi dimensioni, uccisi dai Neanderthal circa 120.000 anni fa sulle rive di un piccolo lago in Germania. Con un'innovativa analisi balistica sperimentale, i ricercatori sono stati in grado di capire come fu prodotta una delle lesioni, dimostrano l'uso di un'asta che ha inferto un colpo a bassa velocità. Questo conferma un sospetto consolidato, cioè che i Neanderthal si avvicinavano molto agli animali per colpirli dal basso verso l'alto. Una caccia quasi corpo a corpo che richiedeva un'attenta pianificazione, nonché una stretta collaborazione tra i cacciatori, ma che comportava anche notevoli rischi.

Il terzo articolo che ho selezionato, pubblicato sempre a luglio su «Nature Human Behaviour», riguarda invece i primi *H. sapiens*. La ricerca si basa su una rassegna critica della sempre più ricca documentazione archeologica e paleoambientale relativa alla diffusione della nostra specie in Africa e fuori dall'Africa. Osserviamo allora capacità adattative pressoché uniche rispetto a forme umane precedenti e contemporanee (come i Neanderthal), con l'occupazione di ambienti molto diversi tra loro, su un vastissimo areale e spesso estremi: deserti, foreste pluviali tropicali, ambienti di alta quota e così via. Gli autori sostengono che la comprensione di noi stessi, come specie, non dovrebbe concentrarsi solo sulle prime tracce materiali di complessità tecnologica, di forme d'arte o di pensiero simbolico, ma sull'analisi di ciò che ci rende ecologicamente unici. Siamo una specie «generalista», spiegano i ricercatori, capace di estreme «specializzazioni».

Beh, sì. È la plasticità adattativa di *H. sapiens* che deve aver fatto la differenza. La conclusione a me pare ovvia.

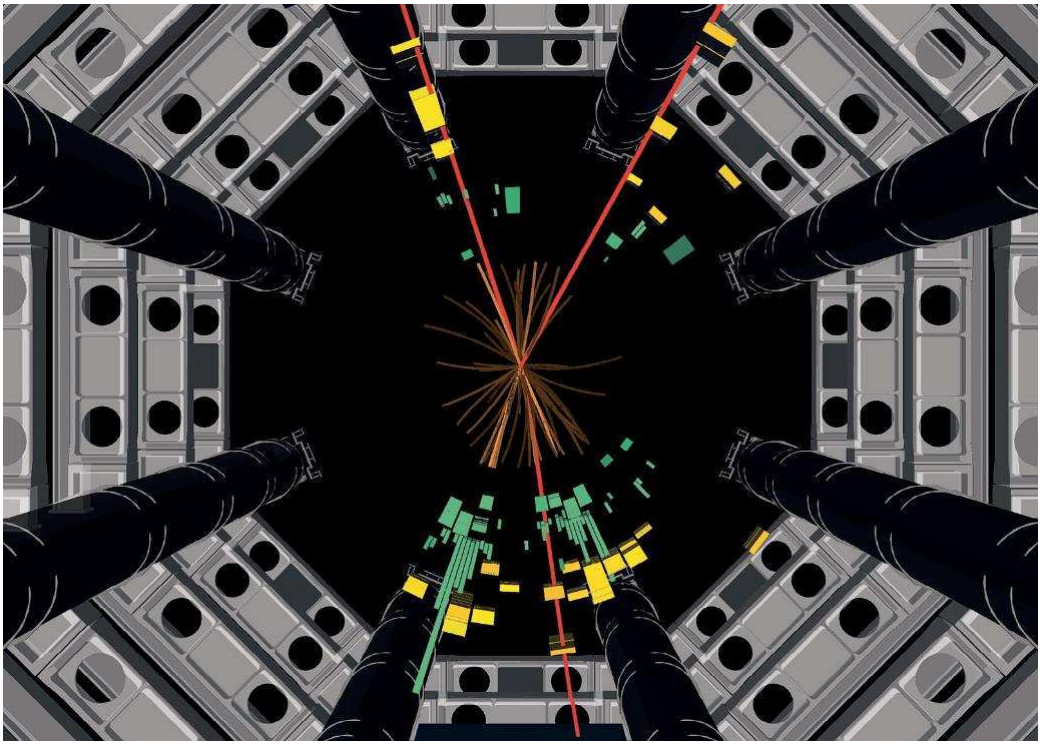
Come erano fatti. Ricostruzione di *Homo neanderthalensis*, specie umana estintasi circa 40.000 anni fa, in esposizione al Natural History Museum di Londra.

Mike Kemp/In Pictures via Getty Images

FISICA DELLE PARTICELLE

Una nuova conferma per l'Higgs

Rilevato il decadimento più probabile per questa particella fondamentale



Coppia di quark. Illustrazione di un evento di decadimento del bosone di Higgs in due quark bottom rilevato dall'esperimento ATLAS del Large Hadron Collider di Ginevra.

Il bosone di Higgs non solo esiste, ma decade come dovrebbe. Lo dimostra una scoperta realizzata con l'acceleratore Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra dai ricercatori degli esperimenti ATLAS e CMS, gli stessi che nel 2012 avevano rilevato per la prima volta la particella teorizzata negli anni sessanta dal britannico Peter Higgs e altri fisici. Dopo un lungo inseguimento, gli scienziati hanno osservato il canale di decadimento più probabile del bosone, che vede la particella trasformarsi in due particelle elementari: una coppia di quark pesanti detti *bottom* (o anche *beauty*). I risultati sono stati pubblicati su «Physical Review Letters».

La scoperta del bosone di Higgs è stata una delle più importanti nella storia recente della fisica: era l'ultimo tassello mancante nel mosaico del modello standard, la teoria che descrive tre delle quattro forze note (con l'eccezione di quella gravitazionale) e tutte le relative particelle elementari. Il suo ruolo nell'economia della teoria è decisivo: il bosone di Higgs è la particella associata al cosiddetto «campo di Higgs», che permea l'intero universo conferendo la massa a tutte le particelle elementari.

All'indomani della scoperta, i ricercatori hanno da subito cercato di verificare alcune proprietà dell'Higgs previste dal modello standard. Una riguarda i possibili modi di decadimento: il bosone di Higgs è estremamente instabile, e una volta prodotto decade quasi istantaneamente trasformandosi in altre particelle. Secondo la teoria, nel 58 per cento dei casi il bosone di Higgs decade in una coppia di pesanti quark bottom. Riuscire a osservare questo decadimento è tuttavia molto complicato – motivo per cui ci sono voluti ben sei anni per riuscirci - perché esistono molti altri processi in grado di produrre quark bottom. Non è quindi banale distinguere la «firma» dell'Higgs dal rumore di fondo dei processi «concorrenti» (a differenza di altri canali di decadimento meno probabili che sono stati invece osservati fin da subito).

Per estrarre il segnale, i ricercatori hanno analizzato con raffinate tecniche numeriche i dati registrati nel corso degli anni da LHC. Sia l'esperimento ATLAS sia CMS hanno osservato il decadimento del bosone di Higgs in due quark bottom in accordo con le previsioni del modello standard, con una significatività statistica superiore a 5 sigma (il limite oltre il quale si può parlare di scoperta).

«È un risultato fondamentale nella ricerca associata al bosone di Higgs, che mostra come gli esperimenti ATLAS e CMS abbiano ormai raggiunto una profonda comprensione dei dati a loro disposizione e un controllo del rumore di fondo che supera le aspettative», ha sottolineato il portavoce di ATLAS Karl Jakobs.

Matteo Serra

Cortesia ATLAS Experiment © 2018 CERN

NOBEL

Il ritorno delle donne, finalmente

I premi sottolineano il loro ruolo nella ricerca ma anche lo scarso riconoscimento ricevuto

Secondo le statistiche dell'UNESCO le donne sono poco meno del 30 per cento sul totale globale degli scienziati. Una percentuale che sale un po' in Unione Europea e Stati Uniti, ma che comunque mette in risalto la presenza di una questione di genere anche nella comunità scientifica. Questione che, per inciso, da qualche tempo inizia a essere dibattuta, ma ancora troppo timidamente.

La situazione diventa ancor più imbarazzante se si analizzano le statistiche dei premi Nobel, i riconoscimenti forse più ambiti dalla comunità scientifica, di sicuro quelli che portano più gloria e notorietà. Dal 1901 – anno in cui iniziò l'assegnazione dei Nobel per fisica, chimica, medicina o fisiologia – a oggi, anno 2018, il totale dei laureati in ambito scientifico è di 607, dei quali solo 20, il 3,3 per cento, sono donne. Una è italiana: Rita Levi-Montalcini, premio per la medicina o la fisiologia nel 1986.

Quest'anno, le donne hanno ricevuto un Nobel addirittura in due discipline scientifiche, altro evento dalla ricorrenza imbarazzante, considerato che aveva un unico precedente nel 2009, quando sono state tre le scienziate premiate in due ambiti diversi. Per le triplette in un solo ambito c'è ancora tempo: speriamo non troppo.

La redazione

La fisica del laser e una questione di genere

L'annuncio. I Nobel per la fisica di quest'anno annunciati durante la tradizionale conferenza stampa di inizio ottobre all'Accademia reale delle scienze di Svezia.

Le ricerche premiate, certo: studi rivoluzionari su laser da cui sono emerse applicazioni importanti anche per la qualità della vita delle persone. Ma la notizia del Nobel per la fisica del 2018 è un'altra: finalmente tornano le donne, dopo un'assenza di 55 anni. L'Accademia reale delle scienze di Svezia ha premiato Donna Strickland dell'Università di Waterloo, in Canada, e Gérard Mourou dell'École Polytechnique di Palaiseau, in Francia, «per il loro metodo di generazione di impulsi ottici ad alta intensità e ultracorti», e Arthur Ashkin dei Bell Laboratories di Holmdel, negli Stati Uniti, «per le pinzette ottiche e la loro applicazione a sistemi biologici».

Strickland è la terza donna a ricevere il Nobel per la fisica dal 1901, anno in cui fu istituito il riconoscimento che porta gloria e notorietà mondiali non solo nella comunità scientifica. Prima di lei solo Marie Curie nel 1903 e Maria Goeppert-Mayer nel 1963 erano riuscite ad arrivare a Stoccolma. (Curie poi nel 1911 avrebbe ricevuto anche il premio per la chimica, ma è un'altra storia.) Considerato che finora i laureati in Nobel per la fisica sono 210, le donne contano per un misero 1,4 per cento del totale, un dato che non ha riscontro con il loro contributo reale alla ricerca scientifica.

Secondo le statistiche dell'UNESCO del 2018, a livello globale il 28,8 per cento degli scienziati è donna, un indicatore che tuttavia nasconde forti differenze tra aree geografiche (nell'Unione Europea il 40 per cento, secondo Eurostat, e negli Stati Uniti il 43 per cento, secondo la National Science Foundation, se si considerano scienziati e ingegneri).

Tornando ai Nobel, era il 1985 quando la dottoranda Strickland pubblicava il suo primo articolo scientifico, coaduviata dal relatore Mourou, in cui delineava lo sviluppo della tecnica *chirped pulse amplification*; grazie a essa oggi è possibile ottenere brevi impulsi laser ad alta intensità, senza distruggere il materiale necessario a un'emissione intensa, da poter impiegare per esempio nella correzione della miopia o nella produzione di *stent* chirurgici. Negli stessi anni, era il 1987, anche Ashkin raggiungeva il suo obiettivo, usare la pressione della radiazione elettromagnetica per spostare oggetti, proprio come se avesse pinzette di luce: nel caso specifico si trattava di batteri. Le sue pinzette oggi sono usate per studiare sistemi biologici microscopici, per esempio la vita interna delle cellule.

Giovanni Spataro

Hanna Franzen/Afp/Getty Images

Togliere i freni al sistema immunitario per aggredire i tumori

Liberarsi da ogni freno per sbloccare una situazione senza via di uscita è una metafora utile in molti ambiti della vita. E in effetti calza a pennello anche con il Nobel per la medicina o la fisiologia del 2018 assegnato dal Karolinska Institut di Stoccolma a James P. Allison dello statunitense University of Texas MD Anderson Cancer Center di Houston e a Tasuku Honjo dell'Università di Kyoto «per la loro scoperta della terapia del cancro tramite l'inibizione della regolazione immunitaria negativa».

Tra l'inizio e la metà degli anni novanta, ciascuno dei due premiati ha studiato una proteina che agisce come freno nella risposta del sistema immunitario ad aggressioni contro l'organismo: è un meccanismo di moderazione fondamentale per evitare reazioni eccessive che portino alla distruzione di cellule e tessuti sani, ovvero a malattie autoimmuni. Manipolando questi freni – la proteina CTLA-4 nel caso di Allison, la PD-1 nel caso di Honjo, entrambe espresse sulle cellule T del sistema immunitario – i due Nobel sono riusciti a scatenare una reazione senza freni contro cellule tumorali sfruttando meccanismi di azione leggermente diversi tra loro. Grazie alle loro scoperte oggi l'immunoterapia, in particolare l'immunoterapia che agisce sui *checkpoint* (posti di blocco) del sistema immunitario, va ad aggiungersi all'elenco dei trattamenti antitumorali che includono anche chemioterapia, radioterapia, terapia ormonale e chirurgia, alcuni dei quali già premiati in passato con il Nobel. Ma non è stato un traguardo immediato.

I primi successi clinici di immunoterapici basati su CTLA-4 e PD-1 sono arrivati tra il 2010 e il 2012, quindi molto tempo dopo le prime scoperte di Allison e Honjo. E oggi diversi farmaci in commercio permettono al sistema immunitario di aggredire le cellule tumorali sbloccando i due freni identificati ben oltre vent'anni fa.

Giovanni Spataro

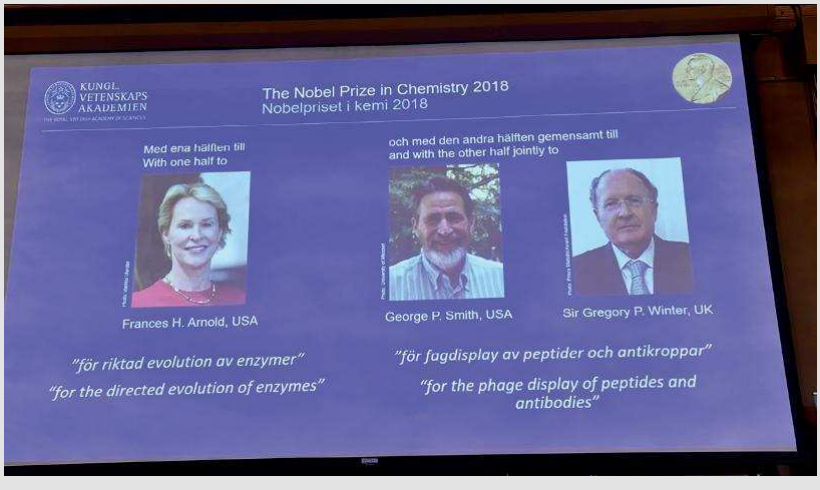
Disinibitori. Allison (*a sinistra*) e Honjo, Nobel per la medicina o la fisiologia, nelle due immagini sullo sfondo durante l'annuncio del premio.

L'evoluzione al potere

Impossibile affermare se il dibattito sulle questioni di genere in ambito scientifico abbia influito sull'assegnazione dei Nobel per la chimica. Certo qualche sospetto su una coda di paglia da parte dell'Accademia reale delle scienze di Svezia è legittimo visto che anche il Nobel per la chimica, oltre a quello della fisica, ha visto una donna tra i premiati: Frances H. Arnold del California Institute of Technology, che ha ricevuto il riconoscimento «per l'evoluzione diretta di enzimi». Solo nel 2009 le donne, ben tre, erano state protagoniste di Nobel in diverse discipline (chimica, medicina o fisiologia), prima di allora infatti questa doppietta interdisciplinare non era mai riuscita (per la tripletta nemmeno a parlarne). Con il premio ad Arnold, dal 1901 a oggi sono cinque le scienziate che hanno ottenuto il premio per la chimica su un totale di 181 laureati: il 2,8 per cento.

Negli anni novanta, la ricercatrice ha sviluppato un metodo con cui evolvere struttura e funzionalità di enzimi, cioè molecole che negli organismi catalizzano reazioni chimiche. Grazie all'ingegneria genetica, Arnold ha forzato dei batteri a produrre versioni differenti di uno stesso enzima, per poi capire quale versione fosse la più adatta a catalizzare una specifica reazione. In altre parole, ha applicato un concetto base dell'evoluzione, la sopravvivenza del più adatto, alla sviluppo di strutture chimiche, contribuendo a processi industriali più amici dell'ambiente. Gli altri Nobel sono George P. Smith della statunitense Università del Missouri e Sir Gregory P. Winter dell'MRC Laboratory of Molecular Biology di Cambridge, in Regno Unito, premiati «per la tecnica del *phage display* applicata a peptidi e anticorpi». Tra la metà degli anni ottanta e i primi anni novanta, i due hanno sviluppato un metodo simile a quello di Arnold che però coinvolge anche virus batteriofagi, cioè che infettano i batteri. La loro tecnica è usata con successo per evolvere anticorpi da usare in ambito farmacologico.

Giovanni Spataro



Ispirati dalla vita. I tre premi Nobel per la chimica presentati alla stampa.

Jonathan Nackstrand/AFP/Getty Images (*Nobel medicina*); Jonas Ekstromer/AFP/Getty Images (*Nobel chimica*)

ASTROFISICA

Materia in caduta diretta in un buco nero

Il nucleo attivo di una galassia lontana attira materia senza generare un moto a spirale

La materia in caduta verso un buco nero si trova in genere distribuita nel cosiddetto disco di accrescimento. Adesso però un gruppo di astronomi guidato da Ken Pounds, della Università di Leicester, in Regno Unito, ha scoperto un flusso di materia che sta cadendo direttamente verso un buco nero supermassiccio, senza seguire il moto a spirale tipico dei dischi di accrescimento.

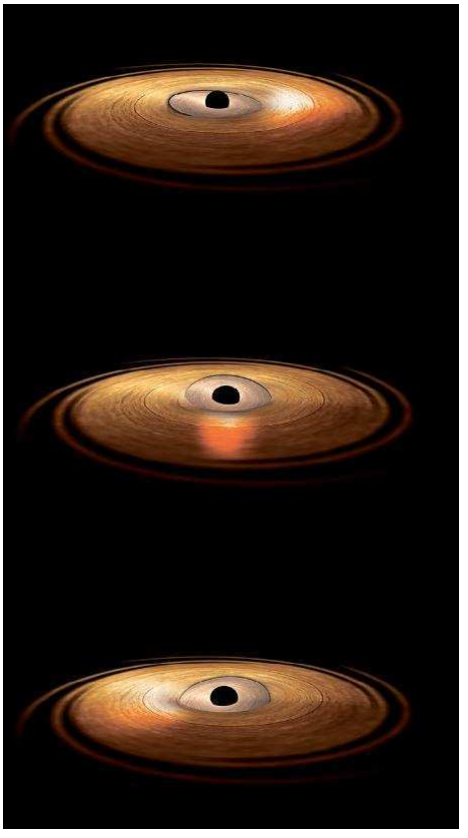
La scoperta, descritta su «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», è stata resa possibile dalle osservazioni del telescopio spaziale per raggi X dell'Agenzia spaziale europea XMM-Newton e riguarda il nucleo attivo della galassia PG1211+143, distante un miliardo di anni luce.

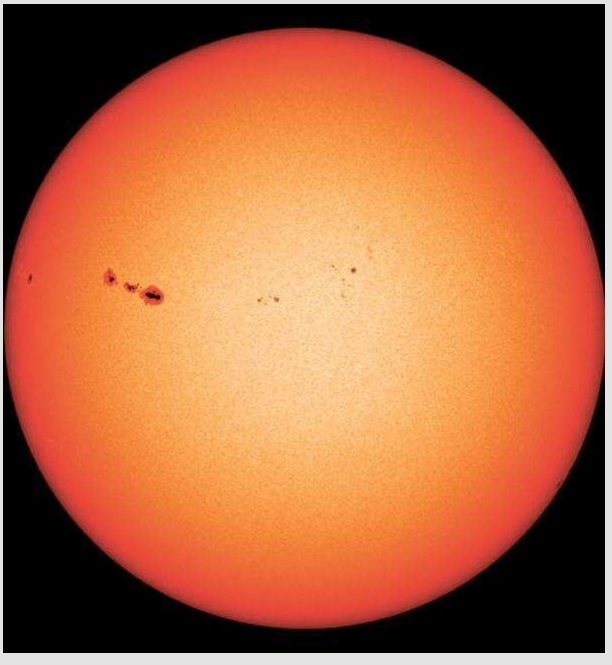
All'interno di questo nucleo galattico attivo si trova un buco nero supermassiccio con una massa stimata di circa 40 milioni di masse solari, che sta accrescendo materia in maniera anomala. Pounds e colleghi hanno rilevato infatti spostamenti verso il rosso molto elevati, causati da velocità radiali di allontanamento (lungo la linea di vista) pari al 30 per cento della velocità della luce, ovvero circa 100.000 chilometri al secondo. Velocità che si spiegano solo ipotizzando non un moto a spirale, ma una caduta diretta di questi gas verso il buco nero.

In effetti, un recente modello teorico, inizialmente sviluppato per spiegare la rapida crescita dei buchi neri nell'universo primordiale, mostra che in realtà il disco di accrescimento non è unico e tutto disposto su un piano, ma può essere composto da più anelli discreti e disallineati rispetto all'asse di rotazione del buco nero. Proprio l'interazione fra questi anelli può creare le condizioni di accrescimento caotico – in particolare il blocco della rotazione degli anelli – osservate nello studio.

Il disallineamento fra gli anelli è prodotto dall'effetto Lense-Thirring, ovvero dal trascinamento del tessuto spazio-temporale causato dalla rotazione del buco nero, previsto dalla teoria generale della relatività. L'osservazione di Pounds e collaboratori conferma dunque questa ipotesi e fornisce una nuova visione sui processi di accrescimento dei buchi neri.

Emiliano Ricci





Come ruotano le stelle

Gli astronomi scoprirono che il Sole ruotava su se stesso non appena furono in grado di osservare con il telescopio il moto delle macchie solari sulla fotosfera, da cui ha origine la radiazione elettromagnetica. Presto si accorsero anche che il Sole ruotava a velocità diverse a seconda della latitudine. In particolare, la velocità di rotazione all'equatore è molto più alta di quella alle medie latitudini e ai poli. Questo fenomeno è chiamato rotazione differenziale e, grazie allo studio della struttura interna del Sole tramite l'osservazione delle oscillazioni superficiali, è stato possibile scoprire che si estende anche all'interno della stella.
Molto più difficile è determinare se anche le altre stelle ruotano in maniera differenziale. Ora, un gruppo guidato da Othman Benomar, della New York University ad Abu Dhabi, negli Emirati Arabi Uniti, ha pubblicato su «Science» i risultati di uno studio effettuato con il telescopio spaziale Kepler su 40 stelle di tipo solare. La scoperta è che gran parte di queste sembra ruotare come il Sole, mentre nessuna ha i poli più veloci dell'equatore, nonostante modelli teorici e simulazioni numeriche prevedano anche questo tipo di rotazione, detta antisolare. Ma i ricercatori ipotizzano che questa mancata osservazione sia originata dalla particolare scelta del campione di stelle.

Emiliano Ricci

Cortesia ESA/ATG medialab (*illustrazione effetto Lense-Thirring e buco nero*); cortesia NASA/SDO (*fotosfera*)

Y&R

Oggi puoi leggere Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

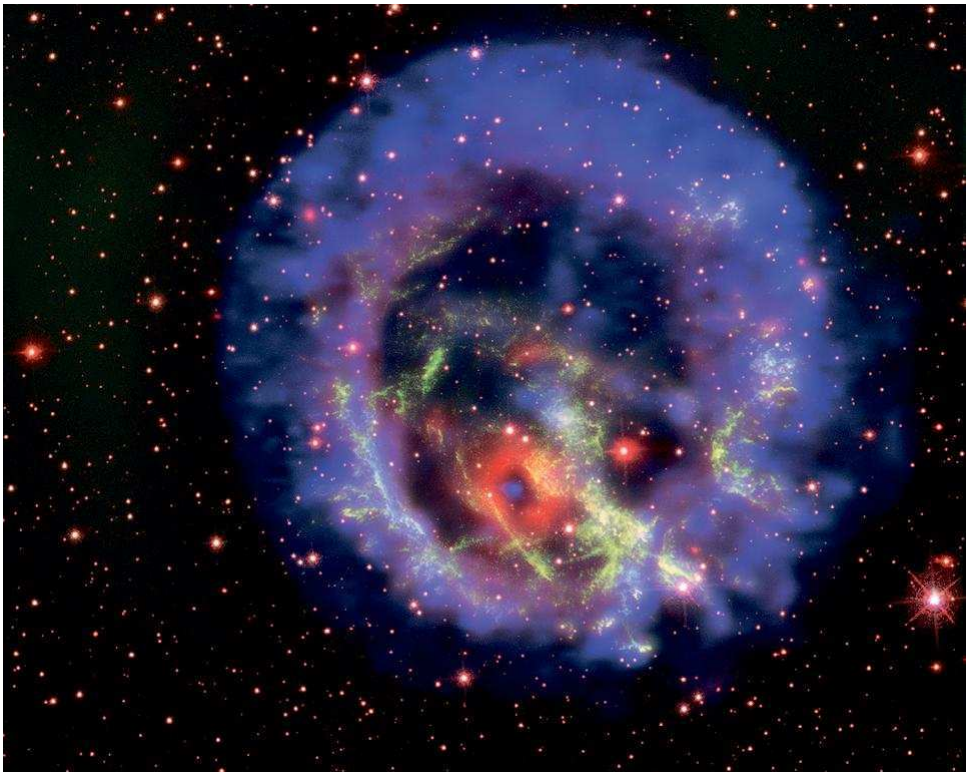
Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

ASTROFISICA

La «pasta nucleare» delle stelle di neutroni

L'interno di questa tipologia di stelle conterrebbe il materiale più resistente dell'universo



Il cuore delle stelle di neutroni contiene con ogni probabilità il materiale più resistente dell'universo. Lo dimostra uno studio pubblicato su «Physical Review Letters» da tre fisici teorici guidati da Matthew Caplan della canadese McGill University di Montreal, che hanno riprodotto con una simulazione numerica il comportamento di questo materiale, noto come «pasta nucleare».

Le stelle di neutroni si formano in seguito al collasso gravitazionale del nucleo di stelle massicce e sono costituite principalmente da neutroni (che insieme ai protoni formano i nuclei atomici), la cui pressione (detta «degenere») si oppone alla gravità rendendo questi oggetti stabili, oltre che incredibilmente densi. Nonostante molte proprietà delle stelle di neutroni siano ormai note con precisione, diversi aspetti non indagabili dal punto di vista osservativo – come il comportamento degli strati più interni – restano da chiarire. Per capirne di più, gli scienziati hanno realizzato un modello che simula il comportamento della crosta, con l'aiuto di potenti supercomputer.

Da studi precedenti era già noto che l'elevatissima densità che caratterizza le stelle di neutroni ha l'effetto di deformare il materiale più interno (composto prevalentemente da neutroni e protoni), portandolo ad assumere forme molto particolari, curiosamente simili alla pastasciutta. Per questo motivo la sostanza è nota come «pasta nucleare», ed è possibile persino individuarne diverse varietà: ci sono gli «spaghetti» (quando il materiale si dispone in lunghi cilindri), le «lasagne» (lamine piatte e sottili) e gli «gnocchi» (piccole sfere).

La simulazione messa a punto dai ricercatori ha dimostrato che la pasta nucleare è incredibilmente resistente, più di quanto si immaginava sulla base degli studi precedenti. In particolare, il modello mostra che per rompere una «porzione» di pasta nucleare è necessaria una forza dieci miliardi di volte maggiore di quella in grado di spezzare l'acciaio: molto probabilmente si tratta della sostanza più resistente dell'universo.

Ma la ricerca ha evidenziato anche un altro aspetto interessante, che offre l'occasione di una verifica sperimentale: le forti irregolarità nella struttura della pasta nucleare potrebbero favorire la produzione di onde gravitazionali, potenzialmente osservabili dai rivelatori terrestri di nuova generazione.

Matteo Serra

Droni che volano come api

Fare in modo che un robot o un drone si muova con sicurezza è una delle difficoltà principali per chi sviluppa macchine intelligenti. La soluzione più usata consiste nell'effettuare una mappatura 3D dello scenario, che viene poi fornita al robot, ma che non permette di muoversi in spazi sconosciuti. Sul tema, centrale per realizzare robot davvero autonomi, si fa molta ricerca. Una proposta innovativa, pubblicata su «IEEE Robotics and Automation Letters», arriva dal Perception and Robotics Group dell'Università del Maryland, dove si è pensato di applicare una telecamera a basso costo a un drone quadrirotore, e di sfruttare il sistema di orientamento usato dalle api quando devono individuare l'ingresso dell'alveare. Dotate di una vista poco acuta, non paragonabile a quella binoculare e tridimensionale di uccelli e mammiferi, questi insetti sanno comunque individuare un'apertura in cui infilarsi volando sul posto e spostandosi in orizzontale e in verticale per costruirsi una mappa visiva dell'area. Effettuata questa ricognizione sono in grado di entrare in volo con sicurezza anche in buchi molto piccoli. I ricercatori hanno messo a punto un algoritmo che riesce a fare la stessa cosa: un passo avanti verso la realizzazione a costi assai ridotti di droni capaci di orientarsi da soli nello spazio.

Riccardo Oldani

Cortesia NASA/CXC/ESO/F.Vogt e altri (*raggi X*); ESO/VLT/MUSE & NASA/STScI (*ottico*)

BIOLOGIA

Scoperte le staminali scheletriche

Identificate le cellule che formano tessuto osseo e cartilagini

A settembre un appello su «Nature» esortava a fare chiarezza sulle cellule staminali mesenchimali, un termine divenuto ormai un calderone mal definito in cui finiscono le cellule più disparate, che andrebbero distinte e caratterizzate per restituire rigore alla disciplina. E solo pochi giorni dopo la pubblicazione dell'appello, Charles Chan, della statunitense Stanford University, descriveva su «Cell» uno dei tipi di cellule in questione: le staminali delle ossa umane, che formano specificamente tessuto osseo, cartilagine e gli altri costituenti dello scheletro (alcuni dei tanti tessuti derivanti dalle cellule mesenchimali).

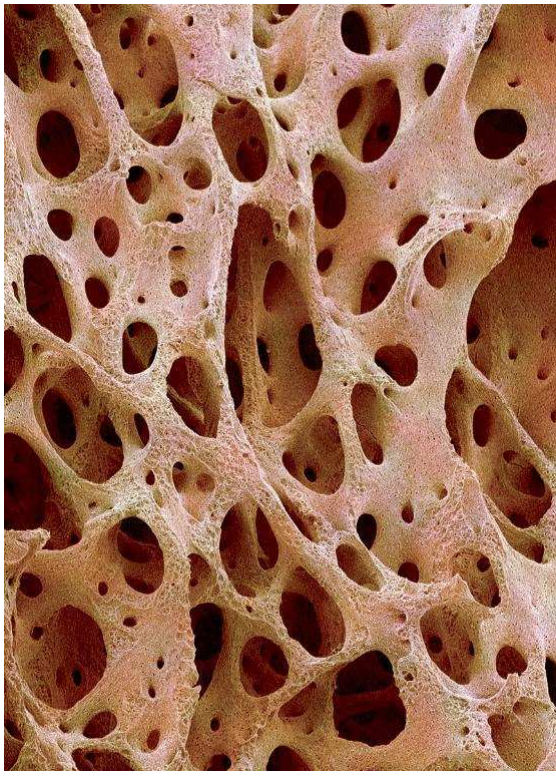
Chan aveva già identificato le staminali dello scheletro nei topi, grazie a modifiche genetiche che aiutavano a tracciare i destini distinti di cellule simili nel corso dello sviluppo. Così aveva individuato l'espressione genica caratteristica di queste cellule nel topo. Ora ha usato queste informazioni per identificare le cellule corrispondenti nel corpo umano, in cui ovviamente non poteva introdurre modifiche genetiche.

Analizzando le zone di accrescimento delle ossa di feti abortiti, e frammenti di ossa e cartilagine asportate in interventi chirurgici, ha individuato le cellule con espressione genica simile alle staminali scheletriche dei topi. Coltivandole *in vitro* ha poi confermato che formano solo ossa e cartilagine, ma non muscoli, grasso o gli altri tessuti prodotti dalle cellule staminali mesenchimali.

Approfondendo le indagini, ha poi trovato la ricetta per ricavare queste cellule dalle staminali multipotenti indotte (quelle che si ricavano «ringiovanendo» le cellule adulte). Ma soprattutto, ha scoperto una fonte abbondante di queste cellule in un altro tessuto: il grasso, incluso quello asportato nella liposuzione, che contiene un tipo di staminali che, con gli opportuni fattori di crescita, diventano scheletriche.

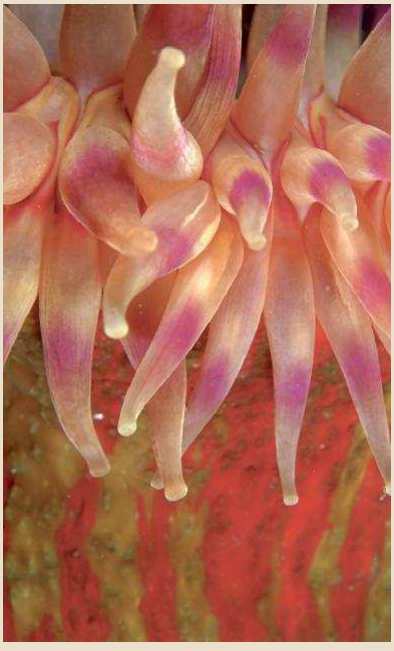
Le potenziali applicazioni terapeutiche includono la riparazione di fratture ossee e danni articolari e il trattamento di condizioni come l'osteoporosi. Ma, avverte Chan, per capire se siano possibili occorreranno ancora anni.

Giovanni Sabato



Science Photo Library/AGF (*tessuto osseo*); Bruno Guenard / Biosphoto/AGF (*anemone*)

Nuove prove di un antico codice genetico per la simmetria dei corpi



Negli animali con simmetria bilaterale, come i vertebrati, i geni *Hox* dirigono lo sviluppo dei segmenti della colonna vertebrale. Uno studio pubblicato su «Science» dimostra ora che questi geni controllano anche la crescita di parti del corpo con simmetria a raggiera, come i tentacoli degli anemoni di mare e di altri cnidari.

Il ruolo dei geni *Hox* negli animali privi di simmetria bilaterale era poco chiaro, nonostante alcune ricerche avessero suggerito che potevano controllare la formazione di tasche mesodermiche, strutture che negli cnidari danno origine ai tentacoli. Studiando uno fra gli cnidari modello nella biologia dello sviluppo, l'anemone di mare *Nematostella vectensis*, Matthew Gibson ha scoperto che la simmetria raggiata tipica della morfologia degli cnidari deriva da un processo di segmentazione che è sotto il controllo dei geni *Hox*, proprio come avviene nello sviluppo delle vertebre nei vertebrati. Insieme al suo gruppo dello statunitense Stowers Institute Medical Research di Kansas City, Gibson ha bloccato l'attività dei geni *Hox* in larve di *N. vectensis*, per poi osservarne le conseguenze sullo sviluppo. Quando uno di questi geni veniva silenziato, nelle larve si perdevano i confini fra una tasca e l'altra, inoltre nell'adulto il numero e l'identità dei tentacoli erano alterati.

Oltre a definire per la prima volta il ruolo dei geni *Hox* negli animali con simmetria radiale, lo studio ha dimostrato che nell'anemone di mare questi geni si influenzano a vicenda attraverso meccanismi già osservati nei vertebrati, suggerendo l'esistenza di un codice genetico comune a cnidari e bilateri nello sviluppo di parti del corpo ripetute, come i tentacoli nei primi e le vertebre nei secondi. «I nostri risultati confermano l'ipotesi che nell'antenato comune dei metazoi gli antichi geni *Hox* controllassero sia l'identità sia lo sviluppo dei segmenti con uno schema assiale», ha spiegato Gibson, aiutando a fare chiarezza su una questione che va avanti da anni.

Sara Mohammad

Comunicazioni vegetali

Le parti di una pianta comunicano fra loro con segnali simili, per certi versi, a quelli degli animali. Quando una foglia è danneggiata, comunica il pericolo alle altre che preparano reazioni difensive. Simon Gilroy, botanico all'Università del Wisconsin a Madison ha mostrato su «Science» che questa comunicazione è sostenuta da un meccanismo simile ai segnali nervosi. Gilroy ha inserito nella specie modello *Arabidopsis thaliana* una proteina fluorescente che aumenta di luminosità quando crescono i livelli di ioni calcio. Ha così scoperto che, quando tagliava una foglia, il tessuto circostante si illuminava e poi tornava a spegnersi, mentre la luminosità si propagava a foglie più lontane. Le foglie distanti sono quindi informate della lesione da un'ondata di ioni calcio che si propaga di cellula in cellula, come nei neuroni. E la cellula attivata trasmette l'eccitazione alle altre secernendo glutammato, uno dei neurotrasmettitori animali evolutivamente più antichi. «La pianta reagisce allo stesso modo sia alle lesioni da bruchi sia da forbici: più grave è il danno, più glutammato è secreto e più distante giunge l'allarme», spiega Gilroy. «Il glutammato sembra quindi un segnale critico nella comunicazione a distanza dell'allarme.» (GiSa)

Reti neurali alla velocità della luce

Alla base dell'attuale rinascimento dell'intelligenza artificiale ci sono le reti neurali: algoritmi che compiono riconoscimenti di schemi complessi tramite reti di neuroni virtuali. La loro velocità è quindi limitata dalla velocità del computer che le implementa. Grazie a un gruppo dell'Università della California a Los Angeles diretto da Aydogan Ozcan ora conosciamo un metodo, descritto su «Science», per riprodurre una rete neurale qualsiasi sotto forma di sottilissimi *wafer* di materiale plastico stampati in 3D. A fare i calcoli è la luce – non visibile ma nell'infrarosso lontano – che viene diffratta e riflessa.

Il segnale luminoso in input – per esempio un'immagine – si rinforza o indebolisce in modo calcolato mentre passa attraverso i sottili strati, simulando la comunicazione tra i neuroni della rete neurale virtuale. Il punto da cui la luce riemerge fornisce il risultato. Una rete neurale di complessità arbitraria può essere quindi progettata e ottimizzata al computer, stampata e da lì in poi effettuare riconoscimento avanzato di immagini in modo del tutto passivo, letteralmente alla velocità della luce. Secondo i ricercatori, questa tecnologia potrebbe essere facilmente scalata a reti di centinaia di milioni di neuroni, e ulteriormente affinata sfruttando materiali ottici non lineari. (MaSan)

Pesci con autocoscienza

Dopo aver fallito con i ciclidi, il gruppo di ricerca coordinato da Masanori Kohda della giapponese Osaka City University ha tentato con i pesci pulitori (*Labroides dimidiatus*) che godono della reputazione di «sofisticati pensatori». Messi alla prova nel «test dello specchio», uno stratagemma sperimentale per verificare negli animali la capacità di riconoscere se stessi, i pulitori lo hanno superato proprio come avevano già fatto le scimmie antropomorfe, i delfini, gli elefanti e le gazze.

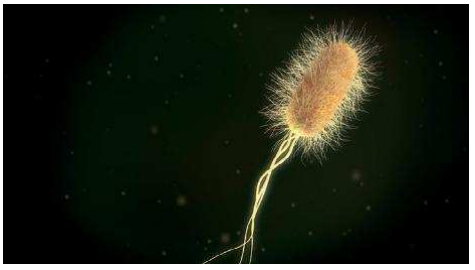
Il test consiste nel disegnare un marchio sul corpo dell'animale: se quest'ultimo, dopo essersi specchiato, tenta di rimuoverlo, vuol dire che ha riconosciuto se stesso nell'immagine riflessa. Così hanno fatto gli otto pesci del test pubblicato su bioRxiv.org, strusciando la parte del corpo segnata contro un substrato. Ma i ricercatori sono prudenti e ammettono che riconoscere il proprio corpo non significa per forza avere coscienza dei propri pensieri e stati d'animo. (MaSa)

Il futuro delle precipitazioni nell'area del Mediterraneo

Il riscaldamento globale porta a un ampliamento della cella equatoriale della circolazione generale dell'atmosfera, quindi allo spostamento medio verso nord delle zone di alta pressione del Sahara, con meno nubi e maggiore siccità. D'altro canto, l'atmosfera più calda oggi può contenere più vapore acqueo e quando l'anticiclone africano si ritrae, aria più fredda entra nel Mediterraneo dove, interagendo con un mare più caldo, può creare precipitazioni violente. In questa situazione, qual è il futuro climatico delle varie zone del Mediterraneo?
Come si legge su «Climatic Change», Yves Tramblay dell'Università di Montpellier e Samuel Somot dell'Università di Tolosa hanno studiato la situazione su 102 bacini idrici che circondano il Mediterraneo. Usando modelli climatici regionali alla risoluzione spaziale di 12 chilometri, i due ricercatori hanno trovato una generale tendenza a una maggiore frequenza dei fenomeni estremi di pioggia sui bacini delle aree a nord del Mediterraneo: fino al 20 per cento in più in alcune zone, tra cui l'Italia settentrionale. D'altro canto, si nota una diminuzione della frequenza sulle coste meridionali. L'inizio di questi cambiamenti risale alla fine degli anni novanta. Una volta inseriti in modelli idrologici, questi dati saranno fondamentali per la valutazione dei rischi futuri di alluvione. (AnPa)

iStock (*foglie*); Sami Sarkis/AGF (*pesce*); Harvepino/iStock (*Mediterraneo*)

Batteri ibernanti



Non tutti i batteri evadono gli antibiotici cambiando il loro DNA, cioè evolvendo varianti resistenti all'azione dei farmaci. Con uno studio pubblicato su «Science Signaling», un gruppo di ricerca coordinato da Boris Macek dell'Università di Tuebingen in Germania ha rivelato l'esistenza di una strategia alternativa, l'«ibernazione».

Osservando esemplari di *Escherichia coli* isolati dal tratto urinario di persone trattate con antibiotici per combattere l'infezione, i ricercatori hanno scoperto che alcuni batteri frenavano momentaneamente lo loro replicazione rendendo così vana l'azione dei farmaci che agiscono proprio impedendo la riproduzione dei patogeni. A innescare questa fase dormiente è l'enzima HipA che interferisce con l'azione di un'altra proteina coinvolta nella sintesi proteica e nella duplicazione cellulare. Non è ancora chiaro perché l'enzima sia sintetizzato solo da alcuni batteri della popolazione, ma è un nuovo bersaglio per cercare di vincere la resistenza antibiotica. (MaSa)

Dall'intestino al cervello in frazioni di secondo

L'intestino appare sempre più come un vero e proprio organo di senso. Le cellule sensoriali disseminate nella sua mucosa, le cellule enteroendocrine, sono già note per veicolare al cervello segnali, come quelli di sazietà, tramite ormoni che arrivano a destinazione in alcuni minuti. Ma Diego Bohórquez, della Duke University di Durham, negli Stati Uniti, mostra su «Science» che c'è anche una linea di comunicazione molto più immediata: le stesse cellule formano sinapsi con le terminazioni sia di nervi sensori spinali sia del nervo vago, che collega l'intestino al cervello, ed eccitano i neuroni usando un classico neurotrasmettitore, il glutammato, inviando così i segnali al cervello in frazioni di secondo.

«La scoperta rovescia un dogma durato decenni, secondo cui le cellule enteroendocrine comunicano solo tramite ormoni», commenta sempre su «Science» Ellen Lumpkin della Columbia University. Resta da capire di preciso quali segnali siano trasmessi per via diretta e che reazioni suscitino: potrebbero essere per esempio i segnali di tossine che richiedono una risposta rapida, ma anche informazioni sui nutrienti e sulla sazietà. E in tal caso si prospetterebbero nuovi possibili farmaci per ridurre l'appetito, e si spiegherebbero forse i limiti di quelli attuali che agiscono solo tramite le vie ormonali. (GiSa)

La tettonica a placche risale agli albori della Terra

La tettonica a placche è il modello che spiega la distribuzione dei continenti, zattere di crosta terrestre alla deriva su un oceano di magma. Si è sempre pensato che la loro formazione abbia richiesto miliardi di anni, ma uno studio pubblicato su «Earth and Planetary Science Letters» sfida questa convinzione. Nick Dygert dell'Università del Tennessee e colleghi hanno esaminato la distribuzione di due isotopi di gas nobili: elio-3 e neon-22. Secondo i modelli precedenti, il rapporto tra questi gas sarebbe aumentato dopo ogni violento impatto meteorico, con la formazione di vasti oceani di magma. I ricercatori, tuttavia, ritengono improbabile questo scenario, che richiede condizioni troppo specifiche, e offrono una spiegazione alternativa.

Anche la continua formazione di nuova crosta, infatti, aumenta progressivamente il rapporto tra elio e neon nel mantello sottostante. Calcolando come questo rapporto varia nel tempo, si può stabilire una linea temporale del ciclo di placche tettoniche della Terra. Secondo i risultati, il fenomeno risalirebbe alle prime fasi di vita del nostro pianeta. (EuMe)

gaetan stoffel/iStock (*E. coli*); iStock (*geyser*); Auscape/UIG/AGF (Dickinsonia)

Il primato di Dickinsonia

I fossili dell'epoca di Ediacara, tra 571 e 541 milioni di anni fa, sono la testimonianza più remota di vita complessa pluricellulare. Queste creature enigmatiche, prive di arti, organi di senso o altre strutture comprensibili, sono state classificate di volta in volta come animali, licheni, protisti giganti o addirittura un ramo evolutivo a parte. Il mistero è ora in parte risolto grazie all'analisi di fossili, scoperti nella regione russa del Mar Bianco, con tracce di materiale organico originario. Lo studio, pubblicato su «Science» da Ilya Bobrovskiy dell'Australian National University a Canberra

e colleghi, si concentra sul fossile *Dickinsonia*, tra i più tipici di Ediacara. Ne risulta che in vita produceva colesterolo, una firma biochimica inconfondibile degli animali. Con i suoi 558 milioni di anni di età, *Dickinsonia*, simile a una frittella segmentata, sarebbe l'animale più antico identificato, anche se il suo posto preciso nell'albero dell'evoluzione resta da chiarire.

Un altro studio su «Nature Ecology & Evolution» di Simon A. F. Darroch, della statunitense Vanderbilt University, analizza il biota di Ediacara e deduce che si trattava di una comunità con specie in competizione e che occupavano diverse nicchie. L'epoca di Ediacara quindi non fu solo l'alba delle specie animali, ma anche degli ecosistemi complessi. (MaSan)

COME SIAMO DIVENTATI UN ALTRO TIPO DI ANIMALE

L'EVOLUZIONE DELLA NOSTRA UNICITÀ

di Kevin Laland

Illustrazione di Victo Ngai

Kevin Laland è professore di biologia comportamentale ed evolutiva all'Università di St. Andrews, in Scozia, e autore del libro *Darwin's Unfinished Symphony: How Culture Made the Human Mind* (Princeton University Press, 2017).

Gran parte delle persone su questo pianeta crede allegramente, per lo più senza alcuna base scientifica, che gli esseri umani siano speciali, diversi dagli altri animali. È curioso notare come gli scienziati meglio qualificati per valutare questa affermazione sembrino spesso restii a riconoscere l'unicità di *Homo sapiens*, forse per paura di rinforzare l'idea dell'eccezionalità dell'essere umano portata avanti nelle dottrine religiose. Eppure sono state raccolte grandi quantità di dati scientifici rigorosi, in campi che vanno dall'ecologia alla psicologia cognitiva, che affermano che quella umana è davvero una specie particolare.

La densità della popolazione umana eccede di molto quella che sarebbe tipica per un animale delle nostre dimensioni. Abitiamo in un'area geografica straordinariamente ampia e controlliamo flussi di energia e di materia senza precedenti: il nostro impatto globale è indiscutibile. Se poi consideriamo anche la nostra intelligenza, le capacità di comunicazione, l'attitudine ad acquisire e a trasmettere conoscenze – unitamente alle magnifiche opere d'arte, architettura e musica che creiamo – l'essere umano si distingue davvero come un animale molto diverso dagli altri. Sembra che la nostra cultura ci separi dal resto della natura, eppure anche quella cultura deve essere un prodotto dell'evoluzione.

La sfida di dare una spiegazione scientifica soddisfacente per l'evoluzione delle capacità cognitive della nostra specie e della loro espressione nella nostra cultura è quella che io chiamo «la sinfonia incompiuta di Darwin». La definisco così perché Charles Darwin iniziò a studiare questi argomenti circa 150 anni fa ma, come egli stesso confessò, la sua comprensione del modo in cui questi nostri attributi si sono sviluppati era, per dirla con le sue parole, «imperfetta» e «frammentaria». Per fortuna altri scienziati hanno raccolto il testimone, e tra quelli di noi che fanno ricerca in questo campo la sensazione è che ci stiamo avvicinando sempre di più a una risposta.

Il consenso emergente è che le conquiste dell'umanità derivino da una capacità di acquisire conoscenza e capacità da altre persone. Gli individui poi costruiscono ripetutamente sul quel deposito di conoscenza comune sul lungo periodo. Questo magazzino comunitario di esperienze permette di creare soluzioni diverse e sempre più efficienti per le sfide della vita. Non sono stati il cervello grande, l'intelligenza oppure il linguaggio a darci la cultura, è stata invece la cultura a darci un cervello grande, l'intelligenza e il linguaggio. Per la nostra specie, e forse anche per un numero ridotto di altre specie, la cultura ha trasformato il processo evolutivo.

Nell'accezione di tutti i giorni il termine «cultura» comprende anche moda o alta cucina, ma ridotta alla sua essenza scientifica la cultura comprende schemi di comportamento condivisi dai membri di una comunità che fanno affidamento su informazioni trasmesse socialmente. Dal *design* automobilistico agli stili musicali di successo, dalle teorie scientifiche alle tecniche di ricerca del cibo nelle società tribali, sono tutte cose che si sviluppano attraverso infiniti cicli di innovazione che migliorano progressivamente una base iniziale di conoscenza. Ripetere e innovare continuamente e incessantemente: ecco il segreto del successo della nostra specie.

IN BREVE

Le conquiste umane derivano dalla capacità di acquisire conoscenze dagli altri individui e di usare quel deposito comune di esperienza per inventare soluzioni nuove alle sfide della vita.

Anche altre specie sono capaci di innovazione. Gli scimpanzé aprono le noci martellandole con un sasso e i delfini usano un utensile per stanare le prede nascoste.

La nostra peculiarità è collegata alla capacità di insegnare abilità agli altri attraverso le generazioni con abbastanza precisione da permetterci di costruire grattacieli o di andare sulla Luna.

Seguire i passi degli altri, il cosiddetto apprendimento sociale, è stata una chiave per il successo di *Homo sapiens* da quando esiste come una specie separata. Qui, alcuni membri dell'etnia San, in Namibia, camminano sulle dune in fila indiana.

Kerstin Geier/Getty Images

Talenti animali

Confrontare gli esseri umani con gli altri animali permette agli scienziati di determinare i modi in cui eccelliamo, le qualità che condividiamo con altre specie e il momento storico in cui sono emersi tratti particolari. Un primo passo per capire come abbiano fatto gli esseri umani a diventare così differenti, quindi, è partire da questa prospettiva comparativa e indagare l'apprendimento sociale e l'innovazione in altri animali, una ricerca che alla fine porta a individuare quelle differenze piccole ma fondamentali che ci rendono unici.

Molti animali copiano il comportamento di altri individui e così imparano informazioni riguardo a dieta, tecniche di alimentazione, modi per evitare i predatori, richiami e canti. Un esempio famoso sono le varie tradizioni di impiego di utensili in diverse popolazioni di scimpanzé in Africa. In ciascuna comunità gli esemplari giovani imparano il comportamento locale (per esempio aprire le noci martellandole con un sasso o usare uno stecco per pescare le formiche) imitando individui più esperti. Ma l'apprendimento sociale non è limitato ai primati, né agli animali con un cervello grande oppure ai vertebrati. Migliaia di studi sperimentali hanno dimostrato l'imitazione del comportamento in centinaia di specie di mammiferi, uccelli, pesci e insetti. Ci sono addirittura esperimenti che dimostrano che giovani femmine dei moscerini della frutta selezionano come compagni di accoppiamento maschi che femmine più anziane avevano già scelto.

Una vasta gamma di comportamenti sono appresi socialmente. I delfini hanno tradizioni per la ricerca di cibo in cui usano spugne di mare per stanare i pesci che si nascondono sul fondo. Le orche hanno usanze per la caccia alle foche, inclusa quella in cui fanno cadere le foche dai banchi di ghiaccio caricando tutte insieme nella stessa direzione e creando un'onda gigante. Addirittura i polli assumono tendenze cannibali attraverso l'apprendimento sociale da altri polli. Gran parte della conoscenza trasmessa nei gruppi animali riguarda il cibo (che cosa mangiare e dove trovarlo), ma esistono anche straordinarie convenzioni sociali. Un branco di scimmie cappuccine in Costa Rica ha inventato la bizzarra abitudine di mettere le dita nelle orbite oculari o nelle narici di altre scimmie, oppure le mani nelle loro bocche, sedendo insieme in questo modo per lunghi periodi e dondolandosi lentamente: una convenzione che si ritiene metta alla prova la forza dei legami sociali.

Anche gli animali «innovano». Se ci chiedono di ricordare un'innovazione, ci può venire in mente la scoperta della penicillina da parte di Alexander Fleming o la realizzazione del World Wide Web da parte di Tim Berners-Lee, ma gli equivalenti nel mondo animale non sono meno affascinanti. L'esempio che preferisco riguarda un giovane scimpanzé di nome Mike, osservato dalla primatologa Jane Goodall mentre si produceva in una rumorosa dimostrazione di forza sbattendo tra loro due taniche di cherosene vuote. La *performance* era servita a intimidire i rivali di Mike e lo aveva portato a scalare i ranghi sociali e a diventare il maschio alfa in un tempo record.

Poi ci sono le cornacchie giapponesi che usano le automobili

per aprire le noci. Il guscio delle noci è troppo duro e le cornacchie non riescono a romperlo con il becco, ma riescono lo stesso a nutrirsi di noci, lasciandole sulla strada in modo che le auto ci passino sopra per poi recuperare il gheriglio quando il semaforo diventa rosso. E uno stormo di storni, uccelli notoriamente appassionati di oggetti luccicanti usati come decorazioni per il nido, ha iniziato a derubare una macchina cambiamonete presso un autolavaggio di Fredericksburg, in Virginia, portandosi via centinaia di dollari in monetine. (*Per ulteriori esempi su come gli animali si adattino agli ambienti urbani si veda* Darwin in città *a p. 78*.)

Questi aneddoti sono qualcosa di più che semplici frammenti di storia naturale. Le analisi comparative rivelano schemi interessanti nell'apprendimento sociale e nella capacità di innovazione esibiti dagli animali. La più significativa di queste scoperte dimostra che le specie più capaci di innovazione, così come gli animali che più fanno affidamento sull'imitazione, hanno un cervello insolitamente grande (sia in termini assoluti sia in rapporto alle dimensioni corporee). La correlazione tra tassi di innovazione e dimensioni del cervello è stata inizialmente osservata negli uccelli, ma poi i risultati sono stati replicati nei primati. Queste scoperte sostengono l'ipotesi detta della spinta culturale (*cultural drive*), proposta per la prima volta negli anni ottanta dal biochimico Allan C. Wilson, dell'Università della California a Berkeley.

Wilson sosteneva che la capacità di risolvere problemi o di imitare le innovazioni altrui avrebbe dato un vantaggio agli individui nella lotta per la sopravvivenza. Se queste capacità avevano un fondamento neurobiologico, avrebbero portato a una selezione naturale a favore di cervelli sempre più grandi, in un processo inarrestabile che sarebbe culminato in quegli organi enormi che dirigono la creatività illimitata e la cultura universale degli esseri umani.

Il cervello è un organo con un alto costo energetico e l'apprendimento sociale è fondamentale affinché gli animali possano raccogliere le risorse necessarie a far crescere e a mantenere un cervello di grandi dimensioni in modo efficiente

In un primo tempo gli altri ricercatori erano scettici riguardo alla teoria di Wilson. Se i moscerini della frutta, con il loro cervello microscopico, erano perfettamente in grado di imitare, perché una selezione a favore dell'imitazione avrebbe dovuto generare il cervello proporzionalmente molto più grande dei primati? L'enigma è durato per anni, finché non è arrivata una risposta da una fonte inattesa.

Imitatori

Il Social Learning Strategies Tournament era un torneo che i miei colleghi e io abbiamo organizzato per scoprire quale fosse il modo migliore di apprendere in un ambiente complesso e mutevole. Abbiamo immaginato un mondo ipotetico in cui gli individui (o agenti, come li chiamavamo) potevano mettere in atto un gran numero di comportamenti possibili, ciascuno dei quali con un premio caratteristico che cambiava nel tempo. La sfida consisteva nel capire quali azioni avrebbero dato i guadagni migliori e nel tracciare come cambiavano quei guadagni. Gli individui potevano imparare un nuovo comportamento oppure metterne in atto uno che avevano imparato in precedenza; l'apprendimento poteva avvenire per tentativi ed errori oppure imitando altri individui.

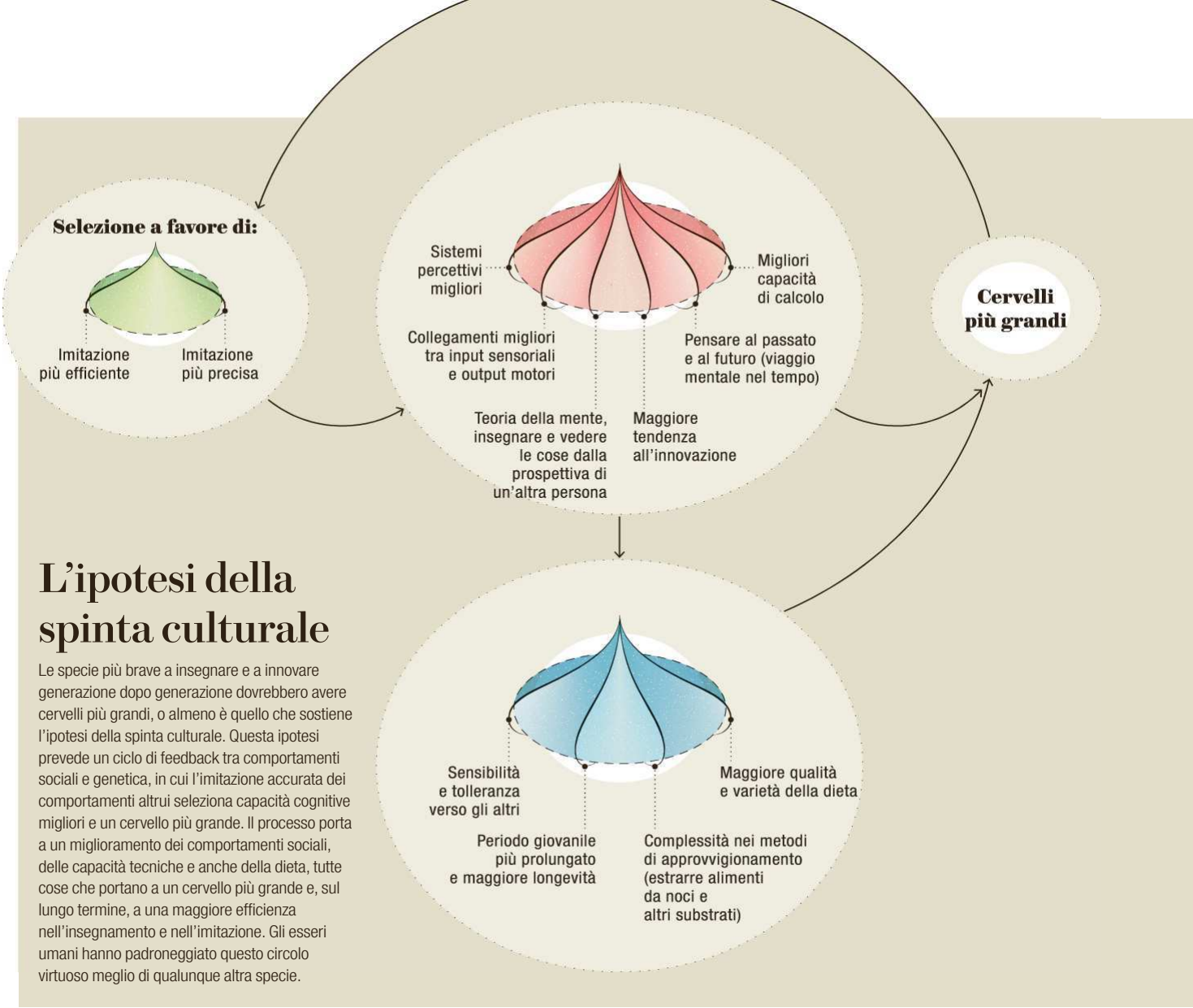
Invece di risolvere il rompicapo da soli, abbiamo descritto il problema e specificato un insieme di regole, invitando a risolverlo. Tutte le proposte, inviate sotto forma di codice informatico che specificava come avrebbero dovuto comportarsi gli agenti, avrebbero gareggiato tra loro in una simulazione computerizzata e quella che avrebbe dato la prestazione migliore avrebbe vinto un premio di 10.000 euro. I risultati sono stati molto istruttivi. Abbiamo trovato una forte relazione positiva tra quanto bene ha funzionato una risposta e quanto bene ha richiesto agli agenti di apprendere dalla società. La risposta vincente non chiedeva agli agenti di apprendere spesso qualcosa di nuovo, ma nei casi in cui avveniva era quasi esclusivamente attraverso l'imitazione, che era sempre praticata in modo accurato ed efficiente.

Il torneo ci ha indicato come interpretare la relazione positiva tra apprendimento sociale e dimensioni del cervello osservata nei primati. I risultati suggerivano che la selezione naturale non favorisce un aumento dell'apprendimento sociale, ma piuttosto una tendenza verso il suo miglioramento. Gli animali non hanno bisogno di un cervello grande per imitare, ma ne hanno bisogno per imitare bene.

Questa intuizione ha stimolato la ricerca sulle basi empiriche dell'ipotesi della spinta culturale. Ha portato a pensare che nel cervello dei primati la selezione naturale favorisse quelle strutture anatomiche o capacità funzionali che promuovono un'imitazione accurata ed efficiente. Gli esempi potrebbero includere una migliore percezione visiva se permette di imitare a distanze più grandi o di copiarne azioni motorie fini. Inoltre la selezione dovrebbe favorire un collegamento maggiore tra le strutture percettive e quelle motorie nel cervello, aiutando gli individui a tradurre la visione di altri che esibiscono un'abilità nella prestazione corrispondente muovendo il proprio corpo in modo simile.

L'ipotesi della spinta culturale prevedeva anche che la selezione a favore di un apprendimento sociale migliore influenzasse altri aspetti del comportamento sociale e della storia della vita, tra cui vivere in gruppi sociali e usare utensili. L'idea era che più il gruppo era grande e più tempo si passava in compagnia di altri, maggiori erano anche le opportunità di un apprendimento sociale efficace. Tramite l'imitazione, molte specie di scimmie imparano diversi metodi di ricerca del cibo, da quelli estrattivi, come tirare fuori le larve dalla corteccia, a tecniche più sofisticate, basate sull'uso di utensili, come pescare le termiti con uno stecco.

Se l'apprendimento sociale permette ai primati di imparare metodi difficili ma efficienti per la ricerca di cibo, qualsiasi specie capace di apprendimento sociale dovrebbe mostrare un'elevata qualità nei metodi estrattivi e nell'uso di utensili. Queste specie dovrebbero avere una dieta più ricca e una vita più lunga, se questo dà loro più tempo per imparare capacità nuove e trasmetterle alla prole. In breve, la spinta culturale prevede che il tasso di apprendimento sociale corrisponda non solo alla dimensione del cervello ma anche a una serie di misure collegate alle prestazioni cognitive.



L'ipotesi della spinta culturale

Le specie più brave a insegnare e a innovare generazione dopo generazione dovrebbero avere cervelli più grandi, o almeno è quello che sostiene l'ipotesi della spinta culturale. Questa ipotesi prevede un ciclo di feedback tra comportamenti sociali e genetica, in cui l'imitazione accurata dei comportamenti altrui seleziona capacità cognitive migliori e un cervello più grande. Il processo porta a un miglioramento dei comportamenti sociali, delle capacità tecniche e anche della dieta, tutte cose che portano a un cervello più grande e, sul lungo termine, a una maggiore efficienza nell'insegnamento e nell'imitazione. Gli esseri umani hanno padroneggiato questo circolo virtuoso meglio di qualunque altra specie.

Grafica di Federica Fragapane

Analisi comparative rigorose hanno dato sostegno a queste previsioni. I primati che eccellono nell'apprendimento sociale e nella capacità di innovazione appartengono alle stesse specie che hanno le diete più variegate, che usano utensili e tecniche estrattive per il cibo e che mostrano il comportamento sociale più complesso. In effetti le analisi statistiche suggeriscono che gli andamenti di tutte queste abilità variano di pari passo in modo così stretto che è possibile allineare i primati in base a un'unica dimensione delle prestazioni cognitive generali, quella che chiamiamo intelligenza dei primati (vagamente analoga al quoziente intellettivo, QI, degli esseri umani).

Scimpanzé e orangutan eccellono in tutte queste misurazioni di prestazione e hanno un elevato livello di intelligenza dei primati, mentre alcune proscimmie notturne sono scarse nella maggior parte delle prestazioni e arrivano a un livello di intelligenza inferiore. La forte correlazione tra intelligenza dei primati, dimensioni del cervello e prestazioni nei test di laboratorio sull'apprendimento e sulle capacità cognitive convalida l'uso della metrica per misurare l'intelligenza.

Questa interpretazione è anche in accordo con le analisi neuroscientifiche che dimostrano che la dimensione dei singoli componenti del cervello si può prevedere partendo dalle dimensioni totali del cervello. All'evoluzione di cervelli più grandi nei primati sono associate regioni cerebrali più grandi e più connesse (neocorteccia e cervelletto) che permettono il controllo esecutivo delle azioni e una maggiore proiezione corticale verso i neuroni motori che guidano gli arti, il che facilita l'esecuzione di movimenti controllati e precisi. Questo ci aiuta a capire perché gli animali dotati di cervello più grande mostrano capacità cognitive più complesse e l'uso di utensili. (*Per saperne di più sul cervello dei primati si veda* I circuiti del cervello umano sono speciali? *a p. 56.*)

Tracciare la misura dell'intelligenza su un albero genealogico dei primati mostra che l'evoluzione verso un'intelligenza più elevata è avvenuta in modo indipendente in quattro diversi gruppi di primati: scimmie cappuccine, macachi, babbuini e grandi scimmie, cioè proprio le specie rinomate per il loro apprendimento sociale e le loro tradizioni. Questo schema è esattamente quello che ci si aspetterebbe se fossero davvero i processi culturali a guidare l'evoluzione del cervello e delle capacità cognitive. Ulteriori analisi, con dati migliori e metodi statistici di ultimissima generazione, confermano queste conclusioni, corroborate anche dai modelli che producono previsioni quantitative delle dimensioni cerebrali e corporee in base alle stime dei costi metabolici del cervello.

La spinta culturale non è l'unica causa dell'evoluzione del cervello nei primati: sono importanti anche dieta e relazioni sociali, perché i primati che mangiano frutta e quelli che vivono in gruppi grandi e complessi hanno cervelli più grandi. Tuttavia è difficile non arrivare alla conclusione che una grande intelligenza e una vita più lunga si siano evolute contemporaneamente in alcuni primati perché le loro capacità culturali permettevano di sfruttare fonti di cibo di alta qualità ma difficili da raggiungere, con principi nutritivi che «pagavano» per la crescita del cervello. Questo organo ha un costo energetico elevato, e l'apprendimento sociale è fondamentale affinché gli animali possano raccogliere le risorse necessarie a far crescere e a mantenere in modo efficiente un cervello di grandi dimensioni.

Perché gli scimpanzé non costruiscono automobili

Ma allora perché gli altri primati non hanno una cultura complessa come la nostra? Perché gli scimpanzé non sono arrivati a sequenziare il genoma o a costruire razzi spaziali? Una teoria matematica ha dato qualche risposta. Il segreto sta nella fedeltà della trasmissione di informazioni da un membro all'altro della specie, nell'accuratezza con cui un'informazione appresa passa dal trasmittente al ricevente. Sia le dimensioni del repertorio culturale di una specie sia la durata dei tratti culturali in una popolazione aumentano esponenzialmente con la fedeltà della trasmissione. Al di sopra di una certa soglia, la cultura inizia ad aumentare in complessità e diversità. Senza una trasmissione accurata, una cultura cumulativa è impossibile, ma una volta che si supera una data soglia anche innovazioni e miglioramenti modesti portano rapidamente a cambiamenti culturali enormi. Gli esseri umani sono l'unica specie vivente ad aver superato questa soglia.

I nostri antenati hanno ottenuto una trasmissione molto fedele delle informazioni attraverso l'insegnamento, cioè un comportamento che serve a facilitare l'apprendimento negli studenti. Se l'imitazione è molto diffusa in natura, l'insegnamento invece è raro, eppure l'insegnamento è universale nelle società umane, se si riconoscono le tante forme sottili che assume questa pratica. Analisi matematiche dimostrano che sono necessari presupposti complessi affinché si sviluppi l'insegnamento, ma mostrano anche che la presenza di una cultura cumulativa riduce la loro complessità. Il modello implica che insegnamento e cultura cumulativa sono coevoluti nei nostri antenati generando, per la prima volta nella storia della vita sul nostro pianeta, una specie i cui membri insegnavano ai propri parenti un'ampia gamma di abilità, il tutto forse rafforzato da una pratica «deliberata» e orientata agli obiettivi (*si veda* Dentro le nostre teste *a p. 38*).

L'insegnamento delle conoscenze culturali negli ominini (gli esseri umani e i loro parenti prossimi oggi estinti) includeva informazioni su ricerca di cibo, preparazione di alimenti, vocalizzazioni apprese, produzione di strumenti e così via; inoltre, forniva il contesto in cui si è sviluppato per la prima volta il linguaggio. Perché i nostri antenati siano stati gli unici a sviluppare il linguaggio è una delle grandi domande ancora senza risposta. Una possibilità è che il linguaggio si sia sviluppato per ridurre i costi dell'insegnamento, aumentarne l'accuratezza e ampliarne gli ambiti. Il linguaggio umano potrebbe essere unico, almeno tra le specie esistenti, perché solo gli esseri umani hanno costruito un mondo culturale abbastanza diversificato e dinamico da doverne parlare. Questa spiegazione ha il vantaggio di rendere conto di molte proprietà caratteristiche del linguaggio, come il suo essere facilmente distinguibile, la capacità di generalizzazione e perché viene appreso (*si veda* Parole che scavalcano il tempo *a p. 50*).

Il linguaggio è iniziato con un piccolissimo numero di segni condivisi. Ma, una volta partito, l'uso del protolinguaggio ha imposto nel cervello degli ominini una selezione a favore della capacità di imparare il linguaggio e allo stesso tempo ha imposto ai linguaggi di evolversi a favore di strutture semplici da apprendere. Ormai ci sono molte prove a sostegno dell'idea per cui le attività culturali dei nostri antenati abbiano imposto una selezione dei loro corpi e delle loro menti, in un processo chiamato coevoluzione geni-cultura. Analisi teoriche, antropologiche e genetiche hanno dimostrato come la conoscenza trasmessa socialmente, inclusa quella che si esprime nella produzione e nell'impiego di utensili, abbia dato origine a una selezione naturale che ha trasformato anatomia e capacità cognitive umane. Questo *feedback* evolutivo ha modellato l'evoluzione della mente umana moderna, generando una psicologia più sviluppata che ha favorito la motivazione a insegnare, parlare, imitare, emulare e condividere obiettivi e intenzioni altrui. Ha anche prodotto migliori capacità di apprendimento e di calcolo. Queste abilità si sono evolute con la cultura cumulativa perché migliorano la fedeltà dell'informazione trasmessa.

Insegnamento e linguaggio sono stati elementi rivoluzionari nell'evoluzione del nostro lignaggio. La cooperazione su larga scala è emersa nelle società umane grazie alle nostre singolari capaci-

VISTI DAGLI ALTRI

Una visita da E.T.

Immaginate un'intelligenza extraterrestre che studia la biosfera della Terra. Quale delle tante specie identificherebbe come diversa dalle altre? La risposta è: l'essere umano. Ecco qualche motivo:

- **Dimensioni della popolazione.** Il numero di esseri umani è anomalo rispetto ai modelli globali delle popolazioni di vertebrati. Questo numero è superiore di diversi ordini di grandezza rispetto a quanto ci si aspetterebbe per un mammifero delle nostre dimensioni.
- **Areale.** La distribuzione della nostra specie è straordinaria. Gli esseri umani hanno infatti colonizzato praticamente tutte le regioni del globo terrestre.
- **Regolazione ambientale.** Gli esseri umani controllano flussi importanti e variegati di energia e di materia su una scala senza precedenti.
- **Impatto globale.** Le attività umane minacciano e stanno portando all'estinzione un numero di specie mai visto prima, suscitando allo stesso tempo un forte cambiamento evolutivo in tutta la biosfera.
- **Capacità cognitive, comunicazione e intelligenza.** Gli esperimenti dimostrano una prestazione superiore da parte degli esseri umani in una vasta gamma di test sull'apprendimento e sulla cognizione. Il linguaggio umano è infinitamente flessibile, a differenza della comunicazione degli altri animali.
- **Acquisizione e condivisione della conoscenza.** Gli esseri umani acquisiscono, condividono e conservano le informazioni a scale mai viste prima, e cumulativamente aumentano di generazione in generazione il deposito di conoscenze culturali condivise.
- **Tecnologia.** Gli esseri umani inventano e producono in massa artefatti infinitamente più complessi e variegati rispetto agli altri animali.

Gli extraterrestri potrebbero anche lasciarsi affascinare dalla proboscide dell'elefante e guardare con stupore il collo della giraffa, ma sono gli esseri umani che noterebbero come unici nel loro genere.

Sia gli scimpanzé che gli esseri umani fabbricano utensili. Gli scimpanzé usano bastoncini per procurarsi termiti e trasmettono questa tecnica ai loro parenti. A differenza degli scimpanzé, gli esseri umani trasmettono alla prole le loro conoscenze culturali con un alto grado di precisione, il che permette di realizzare tecnologie sofisticate.

Steve Bloom/Alamy (*scimpanzé*); CHRIS GUNN NASA (*specchio per telescopio*)

tà per insegnamento e apprendimento sociale, come è dimostrato da dati teorici e sperimentali. La cultura ha portato le popolazioni umane su sentieri evolutivi nuovi, sia creando le condizioni che promuovevano i meccanismi di collaborazione esistenti osservati in altri animali (come quello di aiutare chi contraccambia il favore), sia generando nuovi meccanismi di cooperazione mai visti prima. Le pratiche della selezione culturale di gruppo, cioè quelle che aiutano un gruppo a collaborare e a competere con gli altri gruppi, come per esempio formare un esercito o costruire un sistema di irrigazione, si sono diffuse via via che dimostravano la propria validità (*si veda* L'origine della moralità *a p. 66*).

La cultura ha fornito ai nostri antenati modi per procurarsi il cibo e trucchi per sopravvivere, e all'emergere di ogni nuova invenzione un dato gruppo era in grado di sfruttare in modo più efficiente l'ambiente in cui viveva. Questa situazione alimentava non solo l'ingrandirsi del cervello, ma anche l'aumento della popolazione. Alla domesticazione di piante e animali è seguita una crescita sia del numero di esseri umani sia della complessità sociale. L'agricoltura ha liberato le società dai vincoli che la vita nomade da cacciatori-raccoglitori imponeva alle dimensioni della popolazione e a qualsiasi tendenza a creare nuove tecnologie.

In assenza di quei vincoli, le società agricole sono fiorite sia perché si sono dimostrate superiori rispetto alle comunità di cacciatori-raccoglitori, dato che aumentava la capacità produttiva di una data area in termini di cibo, sia perché l'agricoltura ha dato il via a una valanga di innovazioni a essa collegate che hanno cambiato la società umana in modo drastico. Nelle società più grandi sostenute dalla crescita delle produzioni agricole, le innovazioni utili avevano maggiori probabilità di diffondersi e di essere mantenute. L'agricoltura ha accelerato una rivoluzione portando non solo all'invenzione di tecnologie a essa correlate, tra cui aratri e tecniche di irrigazione, ma anche a iniziative del tutto inaspettate, come città-Stato, ruota e religioni.

Il quadro che emerge dell'evoluzione cognitiva umana suggerisce che ci siamo fatti da soli. Le caratteristiche distintive dell'umanità (la nostra intelligenza, la creatività e il linguaggio, come anche il nostro successo ecologico e demografico) sono adattamenti evolutivi derivati dalle attività culturali dei nostri antenati oppure conseguenze dirette di simili adattamenti. Per l'evoluzione della nostra specie, l'eredità culturale sembra tanto importante quanto quella genetica.

Tendiamo a pensare all'evoluzione attraverso la selezione naturale come a un processo in cui determinati cambiamenti dell'ambiente esterno, quali i predatori, il clima o le malattie, innescano miglioramenti evolutivi nei tratti di un organismo, ma la mente umana non si è sviluppata in questo modo così diretto. Le nostre capacità mentali sono nate piuttosto da un processo tortuoso e reciproco, in cui i nostri antenati costruivano continuamente nicchie (aspetti dei loro ambienti fisici e sociali) che di riflesso influivano sulla selezione del loro corpo e della loro mente, in cicli senza fine.

Oggi la scienza è arrivata a capire che la differenza tra gli esseri umani e gli altri primati riflette il funzionamento di una vasta serie di meccanismi di feedback nel linea evolutiva degli ominini. Come in una reazione chimica autosostenuta, ne è derivato un processo inarrestabile che ha spinto sempre più avanti le capacità cognitive e la cultura dell'uomo. Il posto degli esseri umani nell'albero genealogico dell'evoluzione è fuori discussione, ma la nostra capacità di pensare, apprendere, comunicare e controllare il nostro ambiente fa di noi una specie davvero diversa da tutti gli altri animali. ■

PER APPROFONDIRE

Social Intelligence, Innovation, and Enhanced Brain Size in Primates. Reader S.M. e Laland K.N., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 99, n. 7, pp. 4436-4441, 2 aprile 2002 .

Why Copy Others? Insights from the Social Learning Strategies Tournament. Rendell L., e altri, in «Science», Vol. 328, pp. 208-213, 9 aprile 2010.

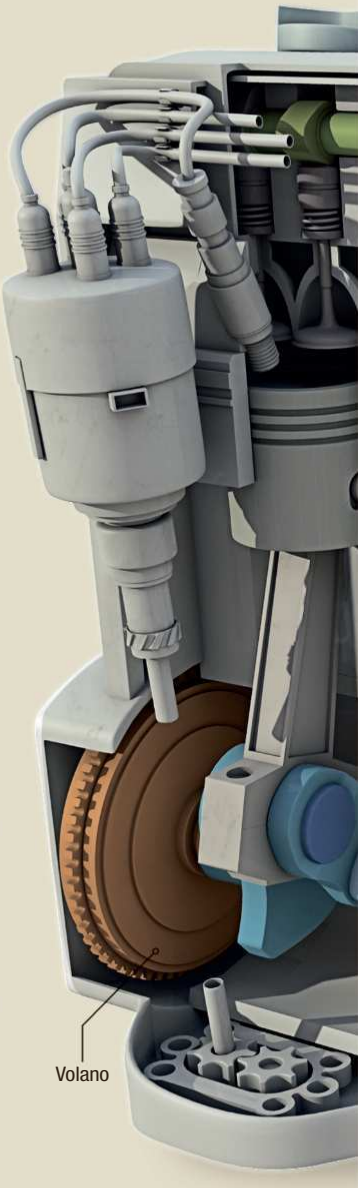
Identification of the Social and Cognitive Processes underlying Human Cumulative Culture. Dean L.G. e altri, in «Science», Vol. 335, pp. 1114-1118, 2 marzo 2012.

L'alba della nostra mente. Wong K., in «Le Scienze» n. 444, agosto 2005.

TECNO *SAPIENS*

UN'ANALISI DEI COMPONENTI DEL MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA RIVELA IL NOSTRO GENIO COLLETTIVO

di Lewis Dartnell



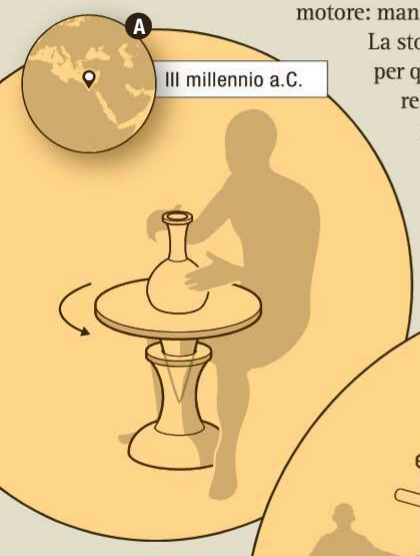
Gli esseri umani dimostrano una straordinaria capacità di trasferire la conoscenza da una generazione all'altra, ma non solo: sono anche estremamente abili nel basarsi su questo *know-how* per creare tecnologia innovativa, dall'ascia a mano acheuleana alla moderna rete elettrica. Questa enorme rete di conoscenza interconnessa e capacità pratica ha richiesto la fatica di milioni di persone nel corso dei millenni. Le raffinatezze tecnologiche, dalla scheggiatura della pietra ai cavi ad alta tensione, potrebbero richiedere molto tempo per essere recuperate se l'umanità fosse mai costretta a far ripartire la civiltà dopo un'apocalisse nucleare, l'impatto di un asteroide o qualche altra catastrofe planetaria.

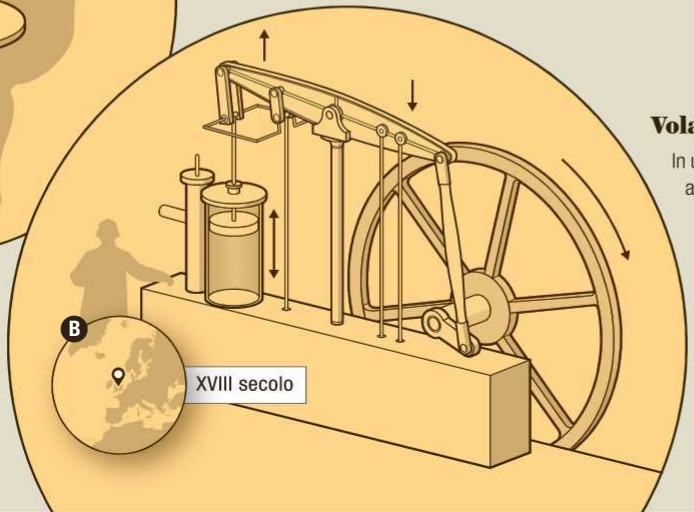
La capacità di insegnare, copiare e soprattutto migliorare quanto creato dalle generazioni precedenti distingue la nostra specie da tutte le altre. Capita raramente che un'invenzione nuova sia del tutto innovativa: molto più spesso è una rielaborazione o una miglioria di tecnologie preesistenti. Un esempio davvero lampante è il motore a combustione interna, che fu inventato scegliendo componenti di uso comune da una raccolta di moduli meccanici già esistenti. Se togliete la pelle metallica del cofano e sezionate il motore come se fosse un organismo, trovate un'organizzazione compatta di singoli meccanismi, ciascuno dei quali svolge il suo ruolo precisamente coordinato con gli altri componenti, ognuno con secoli di storia.

Nel suo insieme, il motore a combustione interna trasforma quasi per miracolo il calore emesso dalla combustione del carburante nel movimento regolare del veicolo. Il cuore pulsante di un'automobile è un gruppo di cilindri e pistoni del motore, che di per sé nella forma sono sostanzialmente identici alle pompe d'acqua antiche. L'espansione esplosiva dei gas caldi prodotti dall'accensione del carburante nei cilindri spinge i pistoni, ma questo movimento avanti e indietro deve essere convertito in una rotazione dell'albero di trasmissione e delle ruote. In questo processo meritano una citazione particolare tre componenti del motore: manovella, albero a camme e volano, tutti con un'origine antica.

La storia di questi componenti, qui illustrata in una cronologia storica, dimostra che, per quanto il motore rombante di una nuovissima automobile sportiva possa sembrare il culmine della raffinatezza tecnologica moderna, in realtà è un miscuglio di componenti riprese da invenzioni precedenti. Alcune di loro risalgono all'antica Cina o addirittura ai primordi della civiltà stessa. ■

Lewis Dartnell è l'autore di *La conoscenza necessaria: come ricostruire la nostra civiltà da zero in caso di catastrofe* (Mondadori, 2016), best seller nella classifica del «New York Times».

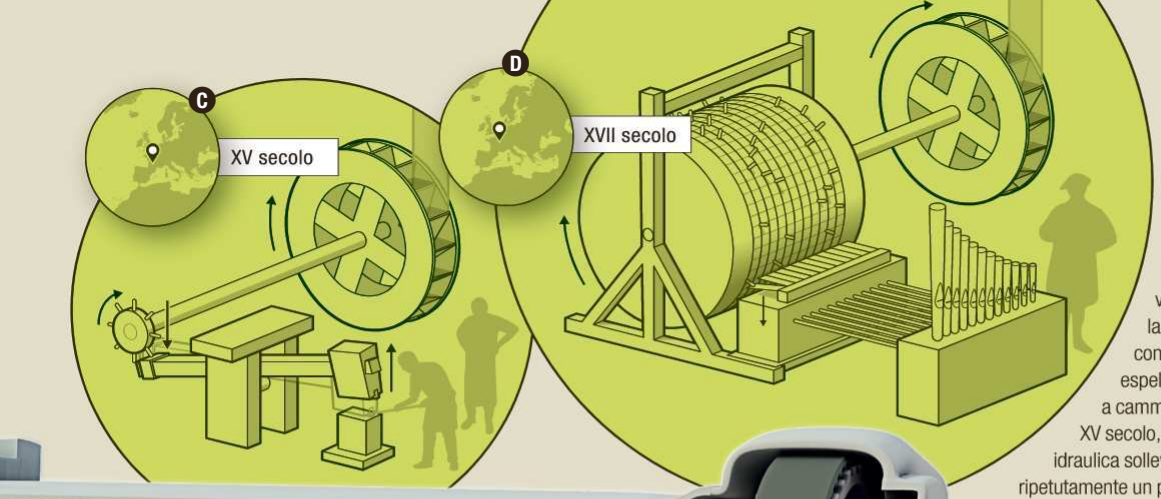




Volano

In un motore a combustione interna i pistoni sono organizzati per attivarsi in una sequenza sfalsata, ma gli impulsi esplosivi che fanno girare l'albero a manovella sono a scatti, ed è necessario un volano per conservare il momento angolare e rendere più uniforme la rotazione dell'albero. Il volano, un'innovazione che risale alle ruote da vasaio dell'antico Egitto **A**, diventò un elemento standard del motore a vapore del XVIII secolo **B**, chiaramente un precursore del motore a combustione interna.

Illustrazioni di José Miguel Mayo *(motore)* e Matthew Twombly *(riquadro)*



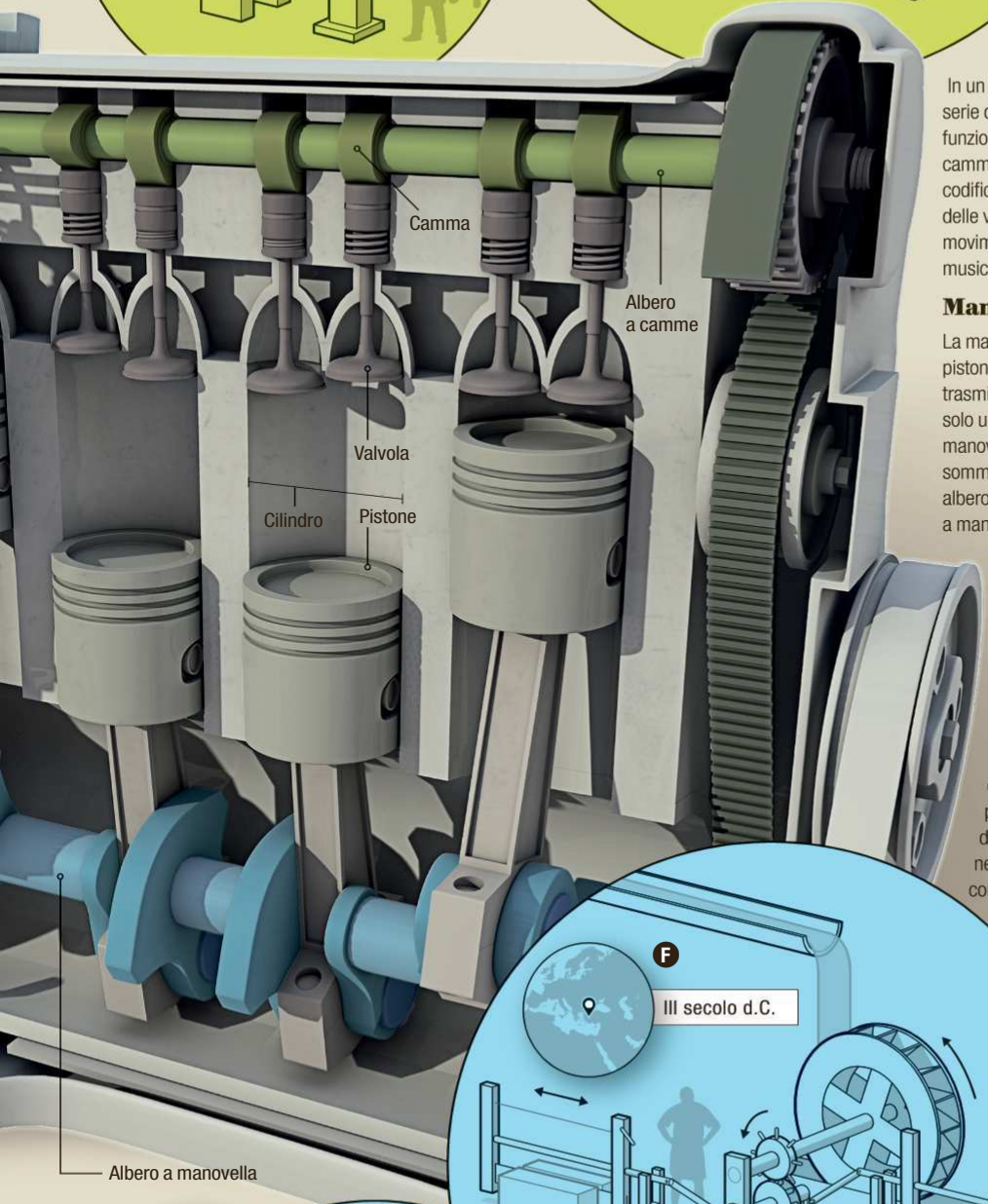
Camma

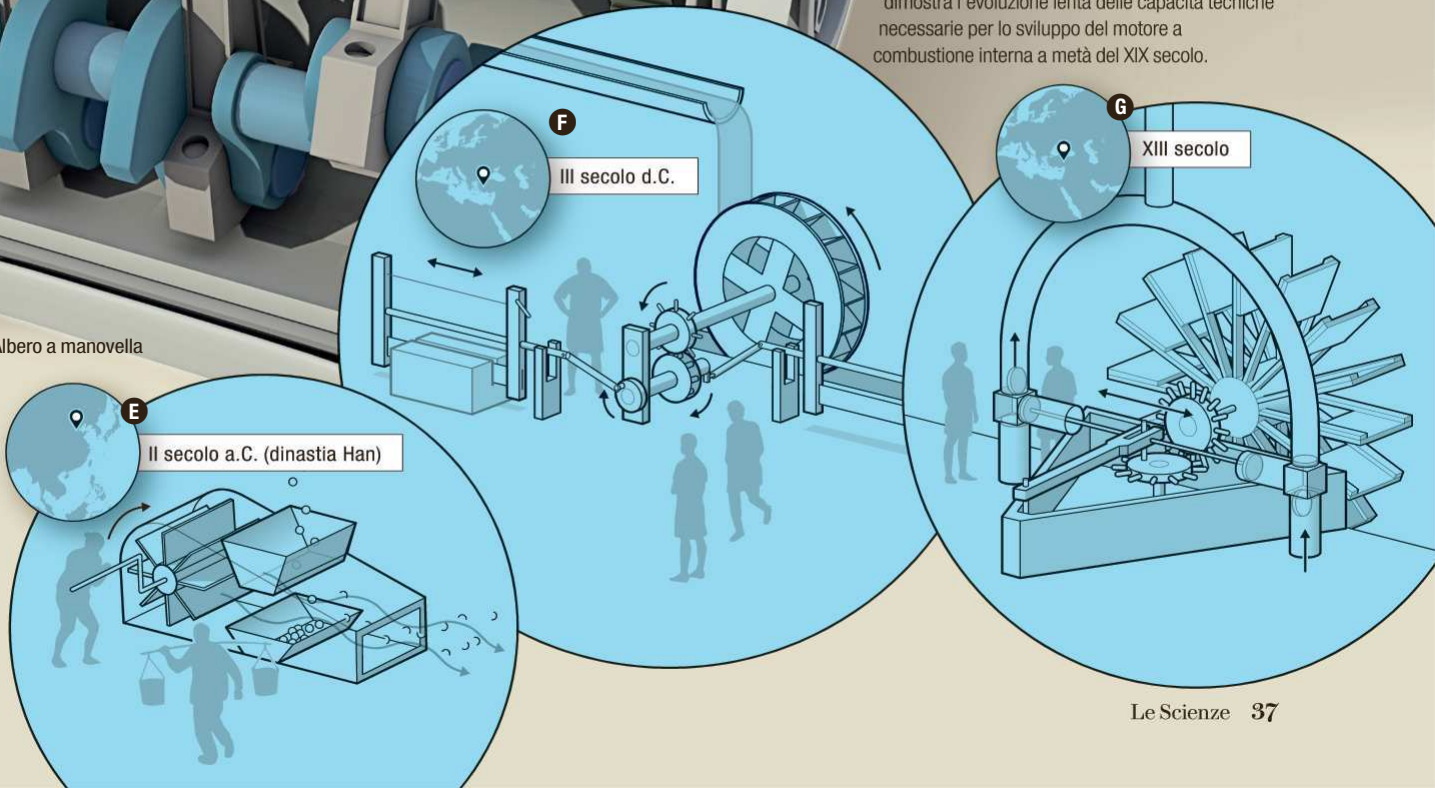
Le camme, le sporgenze su un albero rotante, determinano la sequenza di apertura e chiusura delle valvole nei cilindri per iniettare la miscela di carburante e aria, contenere l'esplosione e quindi espellere i gas di scarico. Gli alberi a camme si usavano nelle fucine del XV secolo, in cui la potenza di una ruota idraulica sollevava e faceva cadere ripetutamente un pesante maglio **C**.

In un moderno motore per automobile, l'albero ha una serie di camme disposte ad angoli diversi per far funzionare le valvole dei cilindri. La disposizione delle camme agisce come un programma meccanico che codifica fisicamente la giusta sequenza di apertura delle valvole. In effetti, l'albero a camme riproduce i movimenti del cilindro rotante a punte degli automi musicali, come gli organi idraulici del XVII secolo **D**.

Manovella

La manovella converte il movimento verticale dei pistoni in quello rotatorio necessario per la trasmissione alle ruote. I primi motori a vapore usavano solo un grande cilindro e un singolo braccio di manovella, ma i moderni motori a combustione interna sommano la forza di vari pistoni che girano lo stesso albero a manovella: un fuso con varie sporgenze simili a maniglie su tutta la sua lunghezza. Le origini della manovella risalgono a oltre 2000 anni fa, alle maniglie dei crivelli della dinastia Han, il cui movimento rotatorio manuale creava un «vento artificiale» per separare i cereali dalla pula **E**. Nel III secolo d.C. la segheria di Hierapolis fu la prima a usare un albero attaccato a un'asta di collegamento per provocare i movimenti di taglio necessari **F**. Nel XIII secolo lo scienziato Ismail al-Jazari ideò un albero a manovella, contenente pistoni gemelli, da usare come pompa d'acqua **G**. Lo sviluppo della manovella dimostra l'evoluzione lenta delle capacità tecniche necessarie per lo sviluppo del motore a combustione interna a metà del XIX secolo.





DUE TRATTI CHIAVE ALL'ORIGINE DELLA MENTE UMANA

DENTRO LE NOSTRE TESTE

di Thomas Suddendorf

Illustrazione di Victo Ngai

Thomas Suddendorf è professore di psicologia all'Università del Queensland, in Australia. Studia lo sviluppo delle capacità mentali nei bambini e nei primati non umani per rispondere a domande di fondo su natura ed evoluzione della mente umana.

Perché siamo noi a gestire gli zoo, e non i gorilla? Gli altri primati vivono senza pretese in habitat sempre più ristretti, ma noi esseri umani ci siamo espansi, trasformando in misura stupefacente quello che abbiamo intorno. È ovvio che il nostro predominio non nasce da doti fisiche; altri animali sono più forti, più veloci, hanno sensi più acuti. Dipende invece dalle nostre facoltà mentali. Eppure, determinare quali tratti cognitivi ci rendono così speciali è risultata una questione diabolicamente complicata, e resa più confusa dall'arrivo frequente di nuovi studi da cui sembrerebbe che vari animali, dagli uccelli agli scimpanzé, possono eguagliare parecchie abilità cognitive umane.

L'anno scorso, per fare un solo esempio, uno studio pubblicato su «Science» ha dichiarato apertamente che i corvi possono pianificare il proprio futuro come noi umani. Cinque di questi uccelli avevano imparato a prendere un sasso e a lasciarlo cadere dentro una scatola per ottenere una ricompensa. In seguito, questi corvi avevano preso proprio quel sasso fra altri elementi di distrazione con parecchi minuti, o addirittura ore, di anticipo sul momento in cui la scatola sarebbe stata disponibile. Da questa impresa, insieme a un compito analogo in cui gli uccelli potevano scambiare tappi di bottiglia con ricompense, i ricercatori hanno concluso che i corvi stavano «pensando al futuro» in modo flessibile, un'abilità chiave per le facoltà mentali umane.

Eppure le imprese cognitive dei corvi, come quelle attribuite alle grandi scimmie in altri studi, possono essere spiegate in modi più semplici. Inoltre si osserva che la cognizione animale e quella umana, sebbene siano simili per molti aspetti, differiscono in due dimensioni profonde. Una è la capacità di elaborare scenari contenuti l'uno nell'altro, in un teatro interiore della mente che ci permette di prevedere e manipolare mentalmente tante possibili situazioni, anticipandone esiti diversi. La seconda è la spinta a scambiare i nostri pensieri con gli altri. L'emergere di queste due caratteristiche, insieme, ha trasformato la mente umana, avviandoci su un cammino che ha cambiato il mondo.

Cervelli da uccelli

Cominciamo osservando più attentamente l'esperimento sui corvi. Già prima dell'inizio dei test gli uccelli avevano imparato, attraverso le numerose prove precedenti, a riconoscere che l'oggetto bersaglio, il sasso, permetteva di ottenere ricompense e gli oggetti di distrazione no. Dunque non è poi realmente sorprendente che quando sono iniziati i test veri e propri i corvi abbiano selezionato ciò che era già stato rinforzato.

Questo è un buon esempio di come gli scienziati, prima di saltare a conclusioni su qualche capacità «ricca» degli animali, debbano stare bene attenti a escludere ogni spiegazione più diretta, o «povera». Inoltre è necessario fare repliche indipendenti. Nel mio laboratorio abbiamo cercato di fare tutto questo con esperimenti che hanno coinvolto bambini e che hanno limitato accuratamente le possibilità di interpretare comportamenti che in realtà vengono da meccanismi poveri come invece dovuti a una cognizione ricca. Abbiamo sottoposto i nostri soggetti sperimentali a sedute di prova singole, con compiti sempre nuovi, affinché non avessero l'opportunità di apprendere per ripetizione. Abbiamo inoltre modificato le condizioni temporali e spaziali dei test per evitare che i bambini ricevessero suggerimenti sulla soluzione, e abbiamo escogitato problemi che implicano l'uso di abilità diverse per mitigare gli effetti di comportamenti che potrebbero risultare da ristrette predisposizioni innate.

Per esempio, mostravamo ai bambini una scatola rompicapo in una stanza e poi li portavamo in un altro ambiente dove erano distratti con un compito diverso non collegato. Dopo 15 minuti davamo loro la possibilità di scegliere uno tra diversi nuovi oggetti da riportare con sé nella prima stanza. I piccoli di tre anni ne prendevano uno a caso, ma quelli di quattro tendevano a scegliere un oggetto che poi li avrebbe aiutati a risolvere il rompicapo dato loro all'inizio. Abbiamo usato questo paradigma di base per valutare la capacità di pratica deliberata, cioè la prova ripetuta di azioni mirata a migliorare la prestazione futura (*si veda l'articolo*

IN BREVE

È chiaro che gli esseri umani pensano in modo diverso dagli animali, ma è sempre stato difficile fare esperimenti che chiariscano che cosa c'è di unico nella cognizione umana.

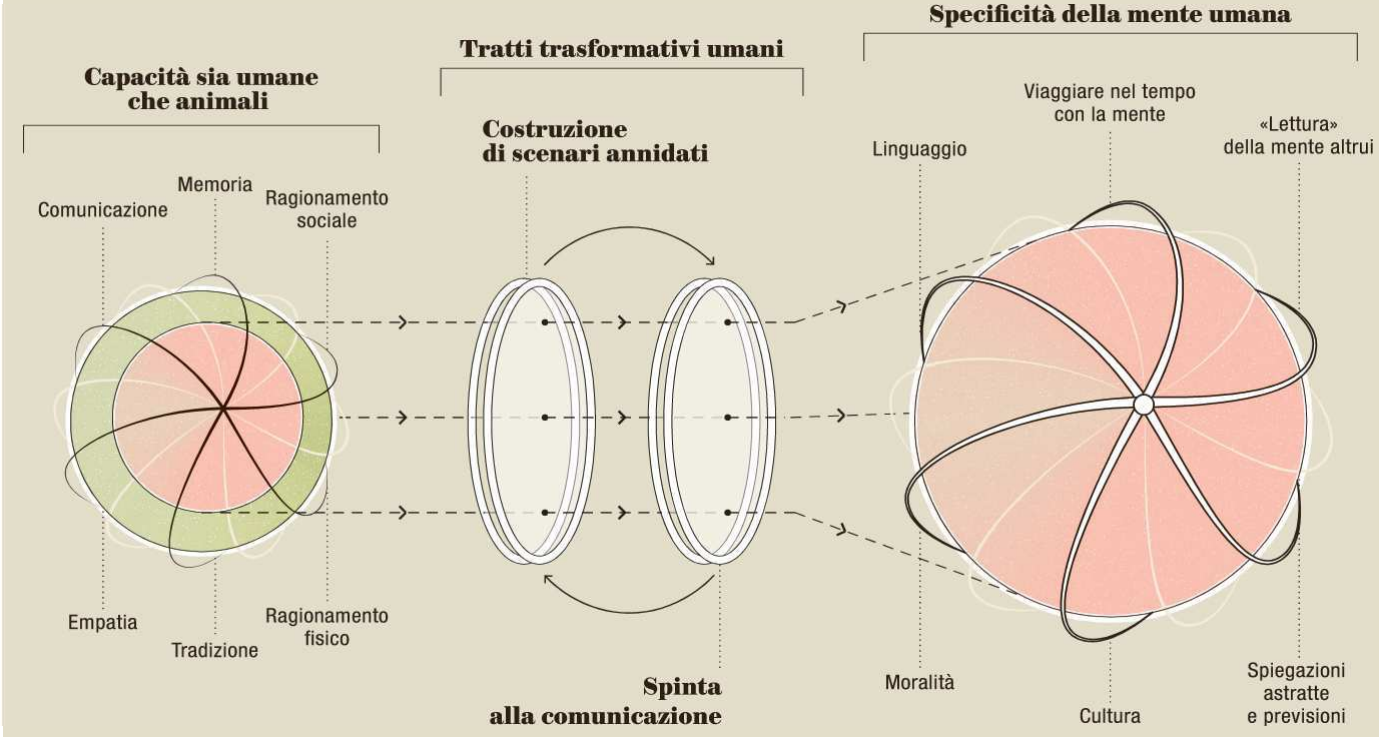
Le ricerche, tuttavia, hanno rivelato due tratti distintivi degli esseri umani: costruzione di scenari complessi e scambio del proprio pensiero con gli altri.

È su questi due tratti che poggiano caratteri umani decisivi come linguaggio, cultura, moralità e lungimiranza, fino alla capacità di leggere, in un certo senso, nella mente altrui.

Due tratti che trasformano

Gli studi di psicologia comparata hanno identificato numerose capacità cognitive che animali ed esseri umani hanno in comune, in aree come comunicazione, memoria, ragionamento sociale, ragionamento fisico, tradizioni ed empatia. Ma due caratteri esclusivamente umani hanno contribuito a trasformare queste capacità in abilità mentali che ci separano dal mondo animale. Uno di questi tratti, la costruzione di scenari innestati l'uno nell'altro, o annidati, ci permette di immaginare varie situazioni alternative, anche con esiti diversi, e inglobarle in una più vasta narrazione di eventi correlati. Il secondo è il bisogno di comunicare, la spinta umana a scambiare i nostri pensieri con gli altri, che permette di ottenere risultati che vanno oltre le capacità dei singoli individui.

Questi due tratti si amplificano l'un l'altro, e hanno modificato le nostre menti, portando infine al linguaggio umano, alla possibilità di spaziare nel tempo con la mente, alla moralità, alla cultura, a «leggere» le menti altrui (nel senso di discernere i pensieri degli altri) e alla capacità di sviluppare e condividere spiegazioni astratte del mondo che abbiamo intorno.



Grafica di Federica Fragapane

L'evoluzione della nostra unicità *a p. 28*). Per esempio, i bambini hanno avuto l'opportunità di esercitarsi a prendere una palla legata a un filo con una tazza, in preparazione al ritorno in una stanza iniziale dove potevano ottenere una ricompensa se svolgevano con successo un compito analogo. Abbiamo trovato che i bambini erano in grado di modificare intenzionalmente le proprie abilità future – cioè nella seconda stanza si esercitavano nell'attività giusta – verso i quattro o cinque anni di età, ma non prima.

Questi compiti sono concepiti per rivelare abilità di base in aree come la capacità pensare il futuro, ma non indicano i limiti superiori di queste abilità. Quando mio figlio aveva quattro anni, per esempio, gli abbiamo proposto una versione di questo compito, che lui ha superato. Quello stesso giorno poi, a casa, seduti sul letto, mi ha messo una mano su una gamba e mi ha detto: «Papà, io non voglio che tu muoia». Quando gli ho chiesto come mai aveva pensato una cosa del genere, mi ha detto che lui sarebbe diventato grande e io sarei diventato nonno, e poi sarei morto. Aveva una raffinata capacità di pensare il futuro, che lo aveva condotto a una spiacevole consapevolezza esistenziale. Il nostro studio aveva dimostrato solo che aveva una certa facoltà mentale di previsione, escludendo spiegazioni più povere.

Le ricerche sui corvi e altri studi sugli animali non rispettavano criteri altrettanto stringenti nel dimostrarne le capacità previsionali, e non hanno nemmeno evidenziato comportamenti di pratica deliberata. Dobbiamo forse concluderne che gli animali sono semplicemente privi di queste capacità? Questo sarebbe prematuro. L'assenza di prove, notoriamente, non è prova dell'assenza. In altre parole, accertare una capacità negli animali è difficile; accertarne la mancanza lo è ancora di più.

Consideriamo il seguente studio, in cui con Jon Redshaw, un collega dell'Università del Queensland, in Australia, abbiamo cercato di valutare uno degli aspetti fondamentali del pensare il futuro: riconoscere che in gran parte è incerto. Quando ci si rende conto che gli eventi potrebbero dispiegarsi in più di un modo, ha senso prepararsi a varie possibilità e fare piani per le varie contingenze. I cacciatori umani mostrano di farlo quando pongono trappole su tutte le possibili vie di fuga di una preda invece che su una sola. Il nostro semplice test di questa capacità consisteva nel mostrare a gruppi di scimpanzé e orangutan un tubo verticale, e poi lasciar cadere dalla cima una ricompensa che gli animali potevano prendere all'altra estremità del tubo. Abbiamo confrontato le prestazioni delle scimmie con quelle di un gruppo di bambini dai due ai quattro anni nella stessa situazione. Tutti e due i gruppi imparavano prontamente a prevedere che la ricompensa sareb-

be ricomparsa in fondo al tubo, e ponevano la mano sotto l'apertura per prepararsi a prenderla.

Poi però abbiamo reso la previsione un po' più difficile. Al posto del tubo diritto abbiamo messo un tubo a Y rovesciata, con due uscite. Nel prepararsi all'uscita della ricompensa, sia le scimmie sia i bambini di due anni tendevano a coprire una sola delle due possibili uscite, quindi ottenevano la ricompensa solo nella metà delle prove. Ma i bimbi di quattro anni coprivano immediatamente, ogni volta, tutte e due le uscite con le due mani, dimostrando la capacità di prepararsi ad almeno due versioni mutuamente esclusive di un evento futuro imminente. Tra i due e i quattro anni di età abbiamo visto un aumento della frequenza di questa capacità di prepararsi a contingenze diverse. Non abbiamo riscontrato capacità del genere nelle scimmie.

Questo esperimento non prova però che scimmie e bambini di due anni non capiscano che il futuro può svilupparsi in più modi diversi. Come dicevo, c'è un problema di fondo quando si tratta di dimostrare l'assenza di una capacità. Forse gli animali non erano motivati, non capivano il compito oppure non coordinavano bene le due mani. O magari abbiamo sottoposto al test gli individui sbagliati e altri animali, più bravi, potrebbero invece essere in grado di superare la prova.

Per provare realmente che questa capacità è assente, uno scienziato dovrebbe sottoporre tutti gli animali, in tutti i possibili momenti, a qualche test infallibile, il che chiaramente è impraticabile. Tutto quello che possiamo fare è dare ad alcuni individui la possibilità di esibire una determinata competenza. Se mancano regolarmente di farlo, possiamo dire con maggiore convinzione che effettivamente non hanno la capacità in questione, ma anche così gli studi futuri potrebbero dimostrare che ci sbagliamo. Le discussioni sulle interpretazioni ricche e povere del comportamento animale, unite a questo problema di fondo nel dimostrare che una certa capacità è sempre assente, hanno reso difficile stabilire che cosa separa, o non separa, noi esseri umani in una categoria a parte.

La maggior parte delle nostre straordinarie capacità deriva dal nostro ingegno collettivo

La vita come un palcoscenico

Difficile ma non impossibile. Nel mio libro *The Gap: The Science of What Separates Us from Other Animals*, ho passato in rassegna le prove relative alle capacità cognitive che più spesso sono assunte come specificamente umane, trovando che gli animali sono più dotati di quanto in genere si creda. Per esempio, gli scimpanzé possono risolvere problemi per via intuitiva, consolare gli altri compagni quando soffrono e mantenere tradizioni sociali. Tuttavia, c'è ancora qualcosa di profondamente diverso nel linguaggio, nella lungimiranza, nell'intelligenza, nella cultura e nella moralità degli esseri umani, e nella capacità di immaginare quello che pensano gli altri (di mettersi, come si dice, nei panni altrui). E in ciascuno di questi campi si ritrovano due tratti di fondo che fanno la decisiva differenza tra esseri umani e animali. Uno è quello che io chiamo «costruzione di scenari innestati» l'uno nell'altro, cioè la nostra capacità di immaginare situazioni alternative, riflettere su di esse e inglobarle in più vaste narrazioni di eventi correlati. L'altra è «l'urgenza alla connessione», cioè la nostra profonda voglia, e capacità, di scambiare i nostri pensieri con gli altri, quando mettiamo insieme le nostre menti a creare qualcosa di più grande di ciò che un individuo può fare da solo.

Costruire scenari innestati l'uno nell'altro ci permette di immaginare situazioni altrui, dilemmi morali o storie del tutto fittizie. In termini di capacità previsionale, ci permette di figurarci potenziali eventi futuri, riflettere su varie possibilità e inglobare il tutto in più ampie narrazioni dello svolgersi degli eventi. A sua volta questo ci permette di pianificare e di prepararci a opportunità e pericoli prima che si presentino.

Altri animali, e persino i batteri, sono in sintonia con regolarità a lungo termine come l'alternanza tra giorno e notte, e molti possono adattarsi anche ad andamenti locali. Mediante apprendimento associativo, vari animali sono in grado di prevedere che dopo uno specifico evento arriverà una ricompensa o una punizione. Ma gli esseri umani possono considerare nella propria mente situazioni, addirittura pensare scenari nuovi senza bisogno di inneschi esterni, combinando e ricombinando nella propria mente i vari elementi, come attori, azioni e oggetti; e siamo in grado di trarre sagge conclusioni da questi esercizi mentali. Un esempio semplice: possiamo immaginare di giocare a mosca cieca in una strada affollata e renderci conto che sarebbe pericoloso anche se non ci siamo mai trovati in una situazione del genere. La costruzione di scenari innestati l'uno nell'altro dipende dal funzionamento concertato di tante raffinate facoltà, come immaginazione, memoria, riflessione e capacità decisionale.

La creazione di scenari innestati può essere pensata come un teatro interiore in cui possiamo dare vita a varie situazioni. Una sorta di «palcoscenico» su cui immaginare eventi che nella realtà e in quel momento non stanno accadendo. Eventi che comportano «attori» e «set»: individui e oggetti collegati fra loro in una narrazione. E c'è anche qualcosa che somiglia a un «regista», che valuta e gestisce le scene, e a un «produttore esecutivo», che prende le decisioni operative su dove alla fine indirizzare la storia. Queste componenti si possono ricondurre a costrutti psicologici come la memoria di lavoro, il pensiero ricorsivo e le cosiddette funzioni esecutive, tratti che si sviluppano a tassi diversi nel corso dell'infanzia. Il risultato è che la capacità previsionale emerge lentamente durante la crescita. E anche da adulti spesso non riusciamo ad anticipare bene le situazioni future. Insomma, non siamo chiaroveggenti.

Menti collegate

Così, dato che costruire scenari innestati è un modo rischioso di prendere le decisioni, gli esseri umani hanno bisogno di accoppiarlo con la seconda caratteristica: mettere in collegamento le nostre menti. Lo psicologo Michael Tomasello ha chiamato questa capacità «intenzionalità condivisa» (*si veda l'articolo* L'origine della moralità *a p. 66*). Dopotutto, il modo migliore per scoprire qualcosa sul futuro è fare domande a chi è già stato, per così dire, da quelle parti.

Se uno vuole davvero sapere com'è andare in vacanza in Nuova Zelanda, o che cosa significa fare lo psicologo, può immaginare tutti gli scenari che vuole ma la cosa migliore sarà chiedere a qualcuno che è già stato nel paese o ha già intrapreso la professione. Il linguaggio umano è lo strumento ideale per questi scambi; la maggior parte delle nostre conversazioni riguarda eventi relativi ad altri momenti nel tempo. In questo modo possiamo appren-

Risultati di esercizi. Strumenti litici del sito di Olorgesailie, in Kenya, prodotti da *H. erectus* quasi 2 milioni di anni fa.

dere da esperienze, riflessioni e programmi gli uni degli altri. Facciamo domande e diamo consigli, e in questo processo costruiamo profondi legami. Possiamo anche, e soprattutto, plasmare il futuro in maniera più deliberata, coordinando le nostre azioni per perseguire fini condivisi. Spesso lo facciamo commentando la strategia di qualcuno che abbiamo accanto, esaminandone i progressi e guidandolo verso il passo seguente.

A pensarci bene, la maggior parte delle nostre straordinarie capacità deriva proprio dal nostro ingegno collettivo. Tutti noi, per esempio, beneficiamo di strumenti e tecnologie inventati da altri. Molti animali usano strumenti, alcuni addirittura li fabbricano, ma per farne un'innovazione bisogna saper riconoscere che uno strumento potrà tornare a essere utile anche in futuro. Capito questo, si avrà un motivo per conservare quello strumento, perfezionarlo e condividerlo con altri.

Possiamo vedere questa evoluzione nel nostro inventare modi sempre più efficaci per colpire a distanza. Probabilmente questa era una capacità essenziale per i nostri primi antenati, che condividevano il territorio con pericolosi carnivori dai denti a sciabola. Inizialmente i nostri progenitori scagliavano semplicemente sassi per allontanare i predatori, poi però si sono armati di lance, hanno inventato strumenti per lanciarle più lontano, e poi archi e frecce. Ma un nuovo strumento è un progresso solo per le persone capaci di usarlo con efficacia, il che ci riporta alla questione dell'esercizio deliberato. È stato riferito che in Senegal alcuni scimpanzé hanno fabbricato lance rudimentali per uccidere i galagoni, piccoli primati notturni, rifugiatisi nelle cavità degli alberi. Ma finora non sono stati visti esercitarsi a infilzare qualcosa con quelle lance, o addirittura scagliarle a distanza. Contrariamente agli esseri umani, non trarrebbero vantaggio dall'invenzione di uno strumento con cui lanciarle. Potremmo dargliene uno dei nostri senza paura: non lo userebbero come noi.

Le più antiche prove di esercizio deliberato risalgono a più di un milione di anni fa. Già di per sé, gli strumenti litici acheuleani di *Homo erectus*, vecchi di 1,8 milioni di anni, indicano considerevole lungimiranza, visto che sembrano portati da un posto all'altro per usarli più volte. Realizzare questi strumenti richiede notevoli conoscenze sulle pietre e sulla loro lavorazione. In qualche sito, come quello di Olorgesailie, in Kenya, il suolo è ancora coperto di pietre lavorate, un contesto che spinge a chiederci come mai i nostri antenati continuassero a fabbricare nuovi attrezzi quando ne avevano già in abbondanza. La risposta è che probabilmente si stavano esercitando. Una volta imparato a fabbricarli, potevano vagabondare nelle pianure sapendo di poter fabbricare un nuovo attrezzo se il vecchio si fosse rotto. Erano armati e pronti a ricaricarsi.

Grandi poteri e responsabilità

La maggior parte delle specie animali possono essere divise in specialiste e generaliste, noi esseri umani però siamo tutte e due le cose: siamo capaci di adattarci rapidamente alle esigenze locali, e anzi di anticipare simili esigenze, acquisendo le necessarie competenze. Ma in più, grazie a cooperazione e divisione del lavoro, possiamo beneficiare di abilità complementari tra loro, così possiamo dominare gli habitat più diversi. Possiamo tenere nei nostri zoo anche i predatori più feroci, perché sappiamo prevedere quello di cui hanno bisogno, e quello che possono e non possono fare. Fino a oggi non ci sono ovvie prove di animali che facciano questo genere di viaggi mentali nel tempo, né che architettino fughe dallo zoo per l'estate prossima, quando le condizioni saranno propizie.

Con la costruzione di scenari innestati l'uno nell'altro e la spinta a mettere insieme le proprie menti, i nostri antenati sono giunti a produrre civiltà e tecnologie che hanno cambiato faccia al mondo. La scienza è l'uso disciplinato dell'intelligenza collettiva e noi possiamo usarla per meglio capire le origini del posto che occupiamo nella natura. Possiamo sfruttarla anche per costruire modelli del futuro in modo sistematico e sempre più chiaro. Prevedendo le conseguenze delle nostre azioni, poi, dobbiamo anche confrontarci con scelte morali. Possiamo prevedere le conseguenze del continuare a inquinare e distruggere gli habitat di altri animali, informarne altre persone e, come hanno dimostrato gli accordi di Parigi sul clima, accordarci per azioni coordinate globali in vista di esiti più desiderabili.

Nulla di tutto questo può essere motivo di arroganza. Nei fatti, anzi, ci richiama a esercitare attenzione e prudenza. Siamo i soli, sul pianeta ad avere queste capacità. Come diceva lo zio Ben dell'Uomo Ragno, deciso a collegare la sua mente a quella del nipote supereroe per comunicare idee complesse: «Da un grande potere derivano grandi responsabilità». ■

PER APPROFONDIRE

The Gap: The Science of What Separates Us from Other Animals. Suddendorf T., Basic Books, 2013.

Unicamente umano. Tomasello M., Il Mulino, Bologna, 2014.

Flexible Planning in Ravens? Redshaw J., Taylor A.H. e Suddendorf T., in «Trends in Cognitive Sciences», Vol. 21, n. 11, pp. 821-822, novembre 2017.

Prospection and Natural Selection. Suddendorf T., Bulley A. e Miloyan B., «Current Opinion in Behavioral Sciences», Vol. 24, pp. 26-31, dicembre 2018.

Datemi un martello. Tattersall I., in «Le Scienze» n. 555, novembre 2014.

DeAgostini/Getty Images

L'ENIGMA DELLA COSCIENZA UMANA

IL PROBLEMA PIÙ DIFFICILE

di Susan Blackmore

Illustrazione di Victo Ngai

Susan Blackmore è psicologa e *visiting professor* all'Università di Plymouth, nel Regno Unito. È autrice di diversi libri, il più celebre dei quali è *La macchina dei memi* (Instar Libri, Torino, 2001).

Noi esseri umani siamo forse l'unica specie davvero cosciente sul pianeta? Astici, leoni, scarafaggi e pipistrelli sono automi privi di coscienza, che rispondono al loro mondo senza dare segni di esperienza cosciente? Aristotele lo pensava, e sosteneva che gli esseri umani hanno anime razionali, ma che gli altri animali hanno soltanto gli istinti necessari per sopravvivere. Nel Medioevo cristiano la *scala naturae*, la «grande catena dell'essere», collocava gli esseri umani a un livello superiore agli animali senz'anima e inferiore solamente a Dio e agli angeli. E nel XVII secolo il filosofo francese Cartesio sosteneva che gli altri animali hanno soltanto comportamenti riflessi.

Eppure, più conosciamo la biologia più è evidente che, oltre all'anatomia, alla fisiologia e alla genetica, condividiamo con gli altri animali anche i sistemi della visione, dell'udito, della memoria, nonché l'espressione delle emozioni. Ma davvero solo noi abbiamo qualcosa in più di speciale, ossia il meraviglioso mondo interiore dell'esperienza soggettiva?

La domanda è difficile perché la vostra coscienza, che potrebbe sembrare la cosa più ovvia del mondo, è forse la più difficile da studiare. Non ne abbiamo neanche una chiara definizione, oltre ad appellarci alla celebre domanda posta dal filosofo Thomas Nagel nel lontano 1974: che cosa si prova a essere un pipistrello? Nagel scelse i pipistrelli perché vivono una vita molto diversa dalla nostra; potremmo immaginare che cosa si prova a dormire a testa in giù oppure a destreggiarci nel mondo usando il sonar. Ma tutto questo vuol dire provare qualcosa? Ecco il punto cruciale: se non si prova nulla a essere un pipistrello, possiamo dire che non è cosciente. Se si prova qualcosa (qualsiasi cosa) a essere un pipistrello, allora è cosciente. Allora esiste?

Condividiamo parecchie cose con i pipistrelli: anche noi abbiamo orecchie, e possiamo immaginare le nostre braccia come ali. Provate allora a immaginare di essere un polpo. Avete otto braccia, o tentacoli, arricciate, prensili e sensibili, per spostarvi e catturare la preda, ma niente scheletro, così potete comprimervi in spazi minuscoli. Solo un terzo dei vostri neuroni è in un cervello centrale, il resto è nelle corde nervose di ciascuno dei vostri otto tentacoli, una per tentacolo. Provate a pensare: si prova qualcosa a essere l'intero polpo, oppure il suo cervello centrale, o ancora un suo singolo tentacolo? La scienza della coscienza non offre vie facili per scoprirlo.

Va ancora peggio con il «problema difficile» della coscienza. Come fa l'esperienza soggettiva a emergere dall'attività oggettiva del cervello? Come fanno i neuroni fisici, con le loro comunicazioni chimiche ed elettriche, a generare il sentimento di dolore, l'emozione del rosso infuocato di un tramonto o il gusto di un buon vino? È un problema di dualismo: come fa la mente a emergere dalla materia? E lo fa, poi?

La risposta a questa domanda divide a metà gli studiosi della coscienza. Da una parte c'è il «Team B», come lo ha definito il filosofo Daniel Dennett. I membri di questo gruppo si scervellano intorno al problema difficile e credono nello «zombie» filosofico, una creatura immaginaria, indistinguibile da voi o da me, ma priva di coscienza. Credere negli zombie significa che altri animali potrebbero vedere, udire, mangiare e accoppiarsi «al buio», senza alcuna esperienza soggettiva. Se le cose stanno così, la coscienza deve es-

IN BREVE

Prove fisiologiche e comportamentali indicano che gli esseri umani sono sostanzialmente simili a molte altre specie animali nelle loro risposte a stimoli dolorosi e piacevoli.

Eppure gli scienziati sono discordi sul fatto che altre creature siano coscienti e possano soffrire. **Si discute anche** se la coscienza risponda a una finalità evolutiva e quando possa essersi evoluta.

In realtà gli studiosi dibattono su quasi ogni aspetto della coscienza. Alcuni affermano che si possa misurare; altri credono invece che sia un'illusione.

Che cosa si prova a essere un pipistrello? Se questo pipistrello senza coda di Geoffroy provasse qualcosa a essere se stesso, allora sarebbe cosciente.

Nicolas Reusens/Getty Images

sere una speciale capacità aggiuntiva che avremmo potuto evolvere o meno, e che – molti direbbero – siamo fortunati ad avere.

Dall'altra parte c'è il Team A: gli studiosi che rifiutano la possibilità degli zombie e pensano che il problema difficile sia – per citare la filosofa Patricia Churchland – un «problema ingannevole» che rende nebulosa la questione. O la coscienza è effettivamente l'attività di corpi e cervelli, o compare inevitabilmente con tutto ciò che condividiamo tanto chiaramente con altri animali. Secondo il Team A non ha senso chiedersi quando o perché la «coscienza in sé» si è evoluta, e nemmeno quale sia la sua funzione, perché la «coscienza in sé» non esiste.

La sofferenza

Perché è una questione importante? Un motivo è la sofferenza. Quando ho calpestato per sbaglio la coda del mio gatto e lui ha gridato, ero sicura di avergli fatto male. Ma il comportamento può essere fuorviante. Potremmo mettere dei sensori di pressione nella coda di un gatto robotico che attivano il grido quando viene pestata, e non penseremmo che ha provato dolore. Molti diventano vegetariani per come sono trattati gli animali di fattoria; ma quelle povere mucche e quei poveri maiali si struggono per la mancanza di grandi spazi aperti? E i polli in batteria soffrono terribilmente nelle loro gabbie striminzite? Esperimenti comportamentali mostrano che i polli, benché amino razzolare nella polvere e scelgano una gabbia che la contiene, se è di facile accesso, non faranno lo sforzo di scostare una tenda pesante per raggiungerla. Vuol forse dire che non gli importa più di tanto? Le aragoste fanno un rumore orribile quando sono bollite vive, ma non potrebbe essere solo aria espulsa a forza dal carapace?

Aragoste e granchi, quando sono feriti, oppure tolti dall'acqua, o ancora perdono una chela, rilasciano ormoni dello stress simili al cortisolo e al corticosterone. Questa reazione offre una ragione fisiologica per ritenere che soffrano. Una dimostrazione ancora più eloquente è che quando i gamberetti feriti zoppicano e sfregano la ferita, questo loro comportamento si può attenuare somministrando gli stessi antidolorifici che ridurrebbero il nostro dolore.

Lo stesso vale per i pesci. Quando gli sperimentatori iniettano acido acetico sulle labbra di una trota arcobaleno, il pesce ruota da un lato all'altro e sfrega le labbra sui bordi della vasca e sul fondo. Ma somministrarle morfina riduce queste sue reazioni. Dando ai pesci zebra la possibilità di scegliere tra una vasca che contiene ghiaino e piante e una vasca spoglia, gli animali scelgono la vasca più interessante. Ma se si inietta loro dell'acido e la vasca spoglia contiene un antidolorifico, allora nuotano verso quest'ultima. Può darsi che il dolore dei pesci sia più semplice o in qualche modo diverso dal nostro, ma questi esperimenti suggeriscono che provano dolore.

Non tutti sono convinti. Il biologo australiano Brian Key sostiene che i pesci potrebbero reagire come se provassero dolore, ma questo non dimostra che stiano provando coscientemente qualcosa.

Gli stimoli nocivi – ha scritto su «Animal Sentience» – «non provocano alcuna sensazione nei pesci». La coscienza umana, dice, si basa su un'amplificazione dei segnali e sull'integrazione globale; e i pesci sono privi dell'architettura neurale che permette queste connessioni. In effetti, Key respinge ogni prova comportamentale e fisiologica, e si affida alla sola anatomia per difendere l'unicità degli esseri umani.

Un mondo di cervelli differenti

Se questi studi non risolvono la questione, ci può essere forse di aiuto confrontare i cervelli. E se gli esseri umani fossero gli unici coscienti, a causa del loro voluminoso cervello? La farmacologa britannica Susan Greenfield ha proposto una teoria secondo cui, nel regno animale, la coscienza aumenta con le dimensioni del cervello. Ma se la ricercatrice ha ragione, allora gli elefanti africani e gli orsi grigi sono più coscienti di noi, e gli alani e i dalmata più coscienti dei pechinesi e dei volpini di Pomerania, il che sarebbe privo di senso.

Più rilevanti delle dimensioni potrebbero essere alcuni aspetti dell'organizzazione e delle funzioni del cervello, che secondo gli scienziati sono indicatori di una coscienza. Quasi tutti i mammiferi e buona parte degli altri animali – incluse molte specie di pesci e di rettili, e alcuni insetti – si alternano tra il sonno e la veglia, o perlomeno hanno marcati ritmi circadiani di attività e di risposta. Aree specifiche del cervello, come il tronco cerebrale inferiore nei mammiferi, controllano questi stati. Pertanto la maggior parte degli animali è cosciente, nel senso che è in stato di veglia. Tuttavia non è la stessa cosa che domandarsi se hanno un contenuto di coscienza; se si prova, cioè, qualcosa a essere una lumaca sveglia o una vivace lucertola.

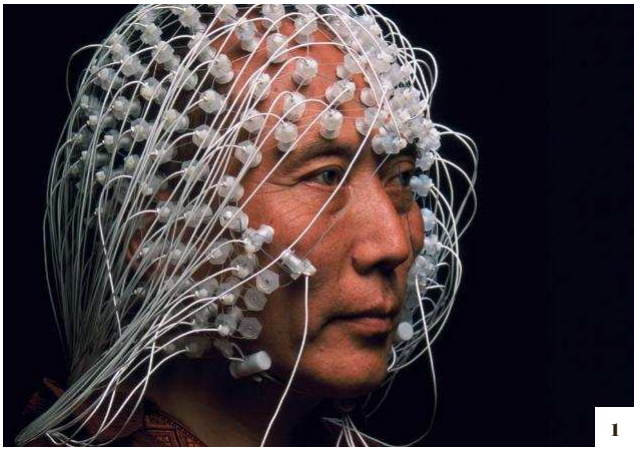
Molti scienziati – tra i quali Francis Crick e più recentemente il neuroscienziato britannico Anil Seth – hanno sostenuto che la coscienza umana implica interazioni diffuse, relativamente rapide e di bassa ampiezza, tra il talamo – una stazione sensoriale intermedia al centro del cervello – e la corteccia, la materia grigia sulla superficie del cervello. A quanto affermano, questi «anelli talamocorticali» contribuiscono a integrare le informazioni nel cervello, e sono pertanto alla base della coscienza. Se ciò è corretto, scoprire queste caratteristiche in altre specie sarebbe un indizio di coscienza. Seth arriva alla conclusione che gli altri mammiferi sono coscienti perché condividono queste strutture. Tuttavia, molte altre specie animali non hanno queste strutture: aragoste e gamberetti, per esempio, non hanno una corteccia né anelli talamocorticali. Forse ci servono teorie della coscienza più specifiche per scoprire le caratteristiche essenziali.

Una delle più popolari è la *Global Workspace Theory* (GWT), la teoria dello spazio di lavoro globale, proposta in origine dal neuroscienziato americano Bernard Baars. Secondo questa teoria i cervelli umani sono strutturati intorno a uno spazio di lavoro, simile in questo a una memoria di lavoro. Qualsiasi contenuto mentale che si fa strada nello spazio di lavoro, o sul «palcoscenico» intensamente illuminato nel teatro della mente, è poi ritrasmesso alle altre parti del cervello inconscio. È questa ritrasmissione globale che le rende coscienti.

Questa teoria implica che animali senza un cervello, come le stelle marine, i ricci di mare e le meduse, non potrebbero affatto essere coscienti; né potrebbero esserlo gli animali con un cervello senza la giusta architettura di spazio di lavoro globale: tra essi, i pesci, i polpi e molte altre specie animali. Eppure, come abbiamo appena visto, un complesso di prove comportamentali suggerisce che siano coscienti.

La *Integrated Information Theory* (IIT), o teoria dell'informazione integrata, proposta in origine dal neuroscienziato Giulio Tononi, è una teoria su base matematica che definisce una quantità, detta Φ (pronunciata «fi»), una misura del grado in cui l'informazione in un sistema è, insieme, differenziata in parti e integrata come una totalità. Diversi sistemi di misurazione di Φ sfociano nella conclusione che cervelli grandi e complessi, come il nostro, hanno un valore di Φ elevato, derivante da circuiti neurali integrati globalmente e con forti connessioni tra loro. Sistemi più semplici hanno un valore di Φ inferiore, con differenze che scaturiscono, inoltre, dall'organizzazione specifica riscontrata in specie differenti. A differenza della teoria dello spazio di lavoro globale, la IIT suggerisce che la coscienza potrebbe esistere in forme semplici nelle creature inferiori, come pure in macchine adeguatamente organizzate e dotate di un valore di Φ elevato.

Sensori disposti sul capo di un monaco in meditazione (*1*) rilevano la sua attività cerebrale. Tuttavia il modo in cui questa attività genera il suo stato mentale resta un mistero. Un polpo (*2*) dello zoo Hellabrunn di Monaco di Baviera, in Germania, apre un vasetto contenente gustosi granchietti. Soltanto un terzo dei suoi neuroni sono nel cervello centrale; il resto è distribuito nei suoi tentacoli. Se è cosciente, dove ha sede la coscienza?



1

Entrambe le teorie sono oggi considerate candidate per una teoria coerente della coscienza, e dovrebbero aiutarci a rispondere alla nostra domanda. Ma quando entra in campo la coscienza animale le loro risposte divergono chiaramente.

L'evoluzione della mente

Così i nostri studi comportamentali, fisiologici e anatomici ci offrono risposte contraddittorie, come del resto le due teorie sulla coscienza più in voga. Potrebbe essere d'aiuto indagare come, perché e quando si è evoluta la coscienza?

Anche qui ritroviamo il divario tra i due gruppi di ricercatori. Quelli del Team B ipotizzano che – essendo noi chiaramente coscienti – la coscienza debba avere una funzione, per esempio dirigere il nostro comportamento o salvarci dai predatori. Tuttavia le loro ipotesi su quando è emersa la coscienza spaziano dai miliardi di anni fino ai tempi storici.

Per esempio lo psichiatra e neurologo Todd Feinberg e il biologo Jon Mallatt propongono, pur senza fornire prove convincenti, una confusa teoria della coscienza, che prevede architetture neurali «annidate e non annidate» e tipi specifici di immagini mentali, che – affermano – si riscontrano in animali vissuti già dai 560 ai 520 milioni di anni fa. Bernard Baars, l'autore della teoria dello spazio di lavoro globale, collega l'origine della coscienza a quella del cervello dei mammiferi, circa 200 milioni di anni fa. L'archeologo britannico Steven Mithen indica l'esplosione culturale iniziata 60.000 anni fa, quando – a suo dire – abilità separate si associarono in un cervello, in precedenza diviso. Lo psicologo Julian Jaynes concorda con la teoria che un cervello, in preceden-

Cary Wolinsky/Getty Images (1); Alamy (2)

2

za diviso, divenne integrato. Sostiene però che ciò accadde molto tempo dopo. Non trovando alcuna prova di parole riferite alla coscienza nell'*Iliade*, ha tratto la conclusione che i Greci non fossero coscienti dei propri pensieri così come lo siamo noi, e che invece li attribuivano agli dèi. Jaynes sostiene pertanto che, fino a 3000 anni fa, gli uomini non avevano esperienze soggettive.

Una qualsiasi di queste teorie è forse corretta? Sono tutte sbagliate, sostengono i membri del Team A, perché la coscienza non ha una funzione né un'origine indipendenti: non è quel genere di cosa. Di questo gruppo fanno parte i «materialisti eliminativi», come Patricia e Paul Churchland, i quali sostengono che la coscienza è soltanto la scarica di neuroni e che un giorno lo accetteremo così come accettiamo che la luce è soltanto radiazione elettromagnetica. Anche la IIT, la teoria dell'informazione integrata, nega una funzione separata della coscienza, perché qualsiasi sistema abbia un Φ sufficientemente elevato deve inevitabilmente essere cosciente. Nessuna di queste teorie fa della coscienza qualcosa di unico, a differenza invece di un'ultima teoria.

Si tratta della tesi ben nota, benché molto fraintesa, secondo la quale la coscienza è un'illusione. Questa impostazione non nega l'esistenza di un'esperienza soggettiva, ma sostiene che né la coscienza né l'Io sono ciò che sembrano. Fra le teorie dell'illusione vi è quella elaborata da Nicholas Humphrey, secondo la quale nella nostra mente è in scena una sorta di «spettacolo di magia». Egli sostiene che, partendo dalle nostre esperienze, il cervello inventa una storia che ha un senso evolutivo, poiché ci dà una ragione per vivere. Vi è poi la teoria dello schema di attenzione, proposta dal neuroscienziato Michael Graziano, per la quale il cervello costruisce un modello semplificato di ciò a cui sta prestando attenzione, e di come lo sta facendo. Questa teoria, qualora sia collegata a un modello dell'Io, permette al cervello – a qualsiasi macchina, in realtà – di descrivere se stesso come dotato di esperienze coscienti.

Ma l'ipotesi dell'illusione più conosciuta in assoluto è la «teoria delle molteplici versioni» di Daniel Dennett, per la quale i cervelli sono sistemi massicciamente paralleli, senza alcun teatro centrale dove è seduto un «Io» che guarda e che controlla il mondo. Avviene, piuttosto, una continua elaborazione di molteplici versioni di percezioni e di pensieri, nessuno dei quali è cosciente oppure non cosciente, fino a quando il sistema viene sondato e genera una risposta. Solo a quel punto possiamo affermare che il pensiero o l'azione erano coscienti. Così, la coscienza è un'attribuzione che stabiliamo noi, a cose fatte. Dennett collega tutto questo alla teoria dei memi. (Un meme è un'informazione copiata da una persona a un'altra persona; ne fanno parte parole, storie, tecnologie, mode e costumi.) Poiché gli esseri umani sono capaci di una diffusa imitazione generalizzata, solo noi possiamo copiare, variare e selezionare memi, creando il linguaggio e la cultura. «La coscienza umana è *essa stessa* un enorme complesso di memi», ha scritto Dennett nel suo libro *Coscienza, che cosa è*, e l'Io è una «illusione benevola che ci sia un autore».

Questo Io illusorio, questo complesso di memi, è ciò che io chiamo *selfplex*, il complesso memico del sé. Un'illusione che noi siamo un Io potente che ha coscienza e libero arbitrio, un'illusione forse non così benevola. Paradossalmente potrebbe essere la nostra perizia nel linguaggio, la memoria autobiografica e la falsa sensazione di essere un Io continuo che contribuiscono ad accrescere la nostra sofferenza. Benché possano sentire il dolore, altre specie non possono peggiorarlo con il lamento «quanto durerà questo dolore? Andrà peggiorando? Perché io? Perché ora?» In questo senso, la nostra capacità di sofferenza potrebbe essere esclusiva. Per i sostenitori dell'illusione, come la sottoscritta, la risposta alla nostra domanda è semplice e scontata. Noi esseri umani siamo unici perché solo noi siamo intelligenti abbastanza da illuderci al punto di credere che esista un «Io» cosciente. ■

PER APPROFONDIRE

The Character of Consciousness. Chalmers D.J., Oxford University Press, 2010.

Coscienza e cervello. Come i neuroni codificano il pensiero. Dehaene S., Raffaello Cortina Editore, Milano, 2014.

Dai batteri a Bach. Come evolve la mente. Dennett D.C., Cortina Editore, Milano, 2018.

CHE COSA C'È DI UNICO NEL LINGUAGGIO UMANO?

PAROLE CHE SCAVALCANO IL TEMPO

di Christine Kenneally

Illustrazione di Victo Ngai

Christine Kenneally, giornalista scientifica, ha ricevuto numerosi premi e ha scritto due libri; il più recente è *Storia invisibile della razza umana* (Mondadori, 2016).

I delfini si danno dei nomi l'uno con l'altro, e comunicano a schiocchi e fischi riguardo alla propria vita o ai pericoli dovuti a squali ed esseri umani. E le madri trasmettono ai figli utili abilità pratiche, per esempio su come catturare i pesci o darsi alla fuga. Se però avessero un linguaggio nel senso in cui lo abbiamo noi, non si limiterebbero a trasmettere piccoli frammenti di informazioni, ma le aggregherebbero in un vasto corpo di conoscenze sul mondo. E nel corso delle generazioni svilupperebbero pratiche intelligenti, saperi complessi e tecnologie basate su due, tre o più componenti.

I delfini avrebbero una storia; e con la storia verrebbero a conoscenza dei viaggi e delle idee di altri gruppi di delfini, e ogni individuo potrebbe ereditare un frammento verbale – forse un racconto, o una poesia – da un altro individuo vissuto secoli prima. Quel delfino sarebbe toccato, attraverso il linguaggio, dal sapere di un altro delfino, per ogni altro aspetto scomparso da tempo.

Solo gli esseri umani sono in grado di compiere di questi spettacolari viaggi nel tempo, proprio come solo gli esseri umani possono entrare nella stratosfera o preparare una torta alle fragole. Dato che abbiamo il linguaggio, abbiamo anche la tecnologia, la cultura, l'arte e la ricerca scientifica. E la capacità di porci domande come: perché il linguaggio è solo umano? Malgrado l'accumulo di genialità che ereditiamo quando impariamo a parlare o a comunicare a gesti, una buona risposta dobbiamo ancora trovarla. Ma c'è un gruppo eterogeneo di scienziati del cervello, linguisti, studiosi del comportamento animale e genetisti che sta affrontando la questione, quindi siamo molto più vicini rispetto al passato a capire come stanno le cose.

Una domanda senza risposta

Che il linguaggio sia caratteristico solo dell'essere umano lo si dà per scontato da tempo. Tuttavia nel cercare di precisare esattamente il come e il perché di questo fatto c'è stato un curioso tabù. Negli anni sessanta dell'Ottocento la Societé de Linguistique di Parigi mise al bando le discussioni sull'origine del linguaggio, e la Philological Society di Londra prese la stessa decisione pochi anni piùtardi. Forse volevano reprimere le speculazioni pseudoscientifiche, o magari c'erano ragioni politiche, ma in un modo o nell'altro, per più di un secolo, l'argomento è rimasto di quelli da prendere con le molle.

Noam Chomsky, l'influente linguista del Massachusetts Institute of Technology, per decenni si è disinteressato dell'evoluzione del linguaggio, e questo suo atteggiamento ha raffreddato un po' tutto il campo. Nei primi anni novanta, quando frequentavo l'Università di Melbourne, in Australia, a lezione di linguistica ho fatto una domanda sulle origini evolutive del linguaggio umano; la risposta è stata che i linguisti quella domanda non se la pongono, perché non è possibile rispondervi.

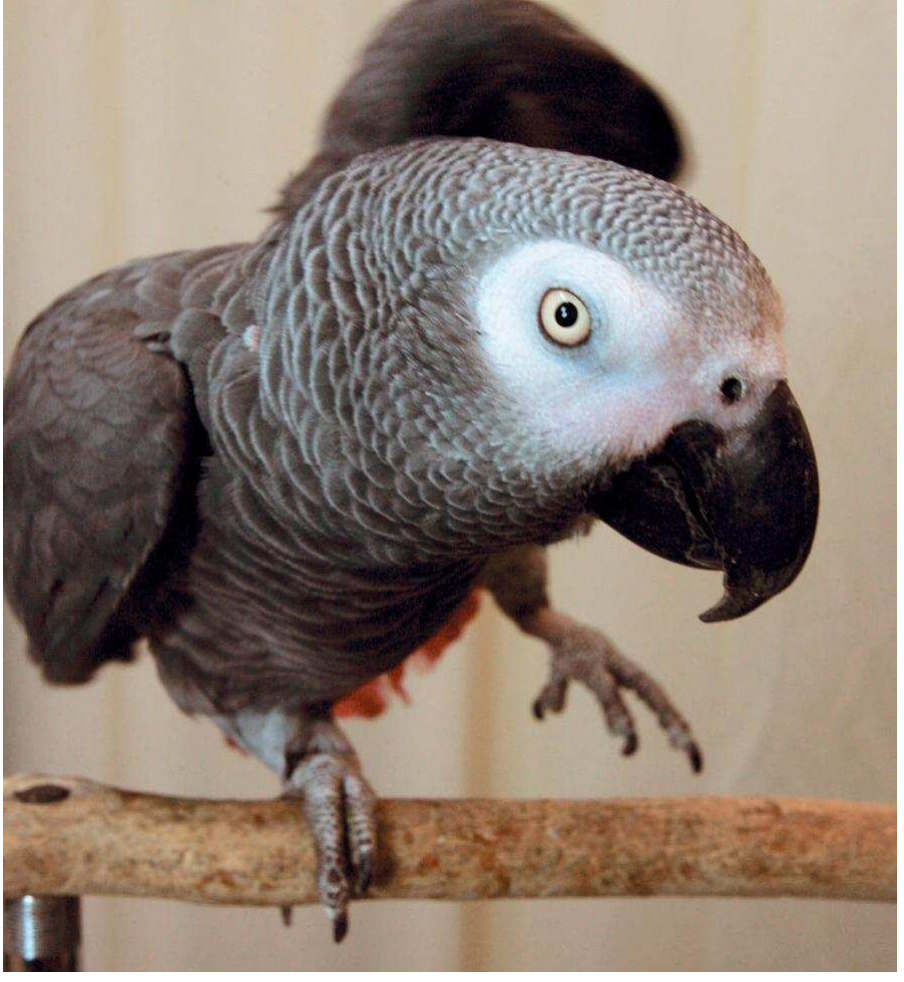
Fortunatamente, solo pochi anni dopo studiosi di diverse discipline hanno preso di petto la questione. I primi anni di seria ricerca in materia hanno portato alla luce uno sconcertante paradosso. Il linguaggio è chiaramente, ovviamente, esclusivamente umano. Consiste in una serie di insiemi di regole interconnesse di complessità pazzesca per combinare insieme suoni, e poi parole e frasi, in modo da generare significati. Se altri animali avessero un sistema del genere, è probabile che noi lo riconosceremmo. Il problema è che, dopo averlo cercato per un considerevole periodo di tempo, e con una vasta gamma di approcci metodologici,

IN BREVE

La comunicazione umana è assai più strutturata e complessa dei gesti e suoni degli altri animali. Gli scienziati, però, non sono riusciti a trovare tratti distintivi, di natura fisiologica, neurologica o genetica, che possano spiegare l'unicità del linguaggio umano.

Il linguaggio sembra invece emergere da un insieme di varie capacità, alcune delle quali sono condivise con altri animali.

Un'ipotesi è che la complessità del linguaggio umano sia nata dalla cultura: la trasmissione della parola ripetuta per molte generazioni.



Alex, un pappagallo cinerino, poteva riconoscere e nominare un centinaio di oggetti con relativi colori, forme e aspetti di superficie, e indicare desideri e intenzioni con frasi come «Voglio tornare indietro». È possibile insegnare a usare il linguaggio umano anche agli scimpanzé.

sembra proprio che non si riesca a trovare nulla di veramente unico in noi stessi – né nel genoma né nel cervello umano – che spieghi il linguaggio.

Certo, abbiamo trovato caratteri biologici che sono al tempo stesso unicamente umani e importanti per il linguaggio. Per esempio, l'essere umano è l'unico primate dotato di controllo volontario della laringe, il che ci fa rischiare il soffocamento ma permette di articolare le parole. Ma le strutture che sembrano fatte per il linguaggio non bastano certo a spiegarne in pieno l'enorme complessità e l'utilità.

Sempre più spesso sembra che il paradosso non sia intrinseco al linguaggio ma sia nel modo in cui lo guardiamo. Per lungo tempo siamo stati innamorati dell'idea di un'improvvisa trasformazione esplosiva, che ha fatto diventare semplici grandi scimmie antropomorfe quello che siamo oggi. L'idea della metamorfosi è andata di pari passo con un elenco di altre idee altrettanto drastiche. Per esempio l'ipotesi che il linguaggio sia un tratto discreto e abbia poco in comune con altre attività mentali; che il linguaggio sia stato l'adattamento evolutivo che ha cambiato tutto; e che il linguaggio sia direttamente iscritto nel DNA dell'essere umano. Siamo andati alla ricerca di qualche specifico evento biologico critico che abbia dato vita al linguaggio complesso circa 50.000 anni fa.

Ora le scoperte di genetica, scienze cognitive e scienze del cervello stanno convergendo su qualcosa di diverso. A quanto pare il linguaggio non è un unico brillante adattamento. Non è codificato in un tratto del genoma, non è nemmeno un prodotto inevitabile della superiorità del cervello umano. Il linguaggio, invece, cresce a partire da una piattaforma di capacità e abilità di vario genere, alcune delle quali assai antiche e condivise con altri animali; solo qualcuna invece è più recente.

Parlare agli animali

I primi a mettere in discussione la definizione del linguaggio come attributo esclusivamente umano sono stati ricercatori che lavorano sugli animali. Come ha fatto notare Heidi Lyn, studiosa di psicologia comparata alla University of Southern Mississippi, il solo modo per determinare che cosa è unico nel linguaggio umano è esplorare le capacità degli altri animali. Curiosamente, ogni volta che i ricercatori hanno proposto che gli esseri umani possono fare qualcosa che gli animali non sono in grado di fare perché gli umani hanno il linguaggio, gli studi hanno dimostrato che c'è qualche animale in grado di fare alcune di quelle cose, almeno qualche volta.

Prendiamo i gesti, per esempio. Alcuni sono individuali, ma molti sono comuni al gruppo linguistico di appartenenza e addirittura a tutti gli esseri umani. È chiaro che il linguaggio si è evoluto come parte di un sistema comunicativo in cui hanno un ruolo anche i gesti. Ma studi che sono punti di riferimento hanno mostrato che anche gli scimpanzé gesticolano in modo significativo. Michael Tomasello del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, in Germania, e colleghi hanno dimostrato che tutte le specie di grandi scimmie antropomorfe aspettano di avere l'attenzione di un altro compagno prima di fare segnali gestuali, e ripetono i segnali che non portano alla risposta voluta. Gli scimpanzé percuotono il terreno o battono le mani per richiamare l'attenzione; e così come un essere umano bellicoso può mostrare il pugno roteano le braccia sopra la testa (di norma come preludio a un attacco) per minacciare e mettere in guardia i rivali.

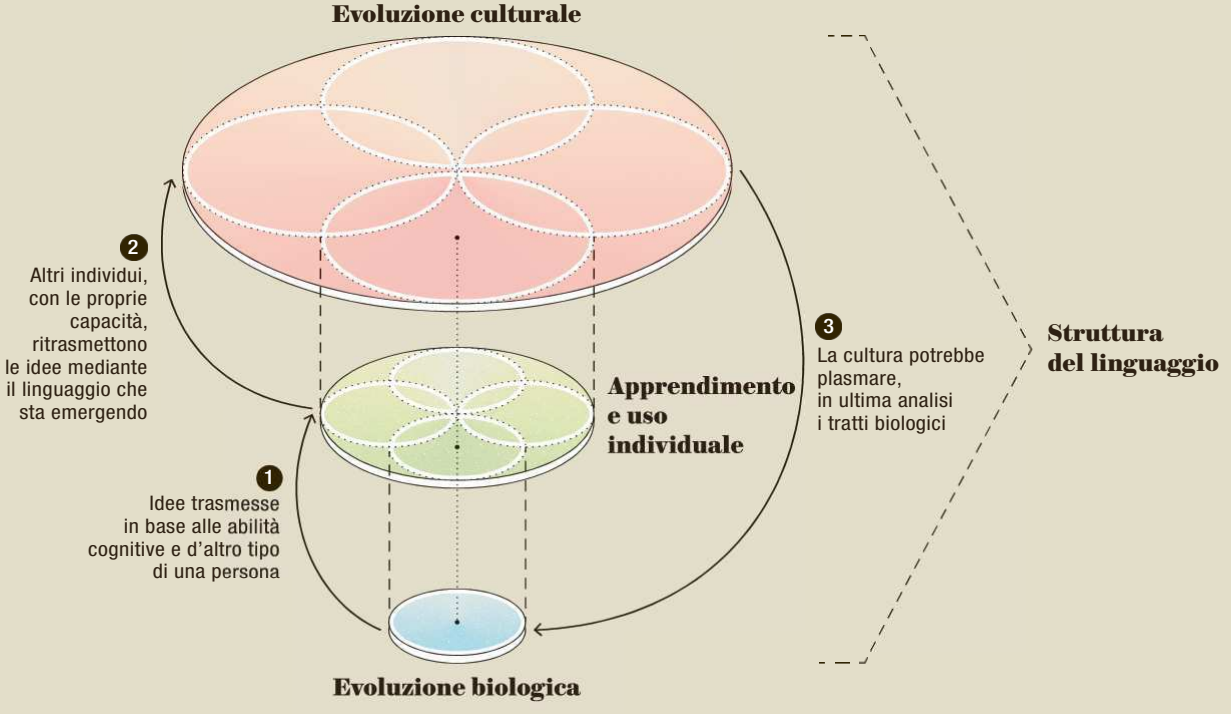
Il laboratorio di Tomasello aveva però scoperto che le grandi scimmie antropomorfe sono carenti nel capire il gesto umano di indicare con il dito per trasmettere un'informazione: per esempio dove si trova un oggetto nascosto. Dunque il gesto di indicare – o meglio la capacità di capirlo in pieno – rappresenta un momento critico nell'evoluzione del linguaggio? Quell'affermazione era parsa assurda a Lyn, che aveva lavorato con bonobo che oggi sono all'Ape Cognition and Conservation Initiative. «Quando puntavo il dito verso un oggetto le mie scimmie mi capivano sempre», dice. Ma quando ha effettuato esperimenti con gli scimpanzé dello Yerkes National Primate Research Center della Emory University ha osservato che non la capivano affatto se puntava il dito. Allora è tornata ai suoi bonobo e li ha messi alla prova. La capivano tutti.

La differenza tra le grandi scimmie antropomorfe che capiscono il dito puntato e quelle che non lo capiscono non ha a che fare con la biologia, ha concluso Lyn. Ai bonobo era stato insegnato a

Getty Images

L'evoluzione del linguaggio

Le lingue hanno strutture complesse, grazie a cui per esempio chi parla italiano può immaginare che cosa vuol dire «giraffa blu» anche se non ha incontrato prima questa combinazione di parole. Gli studi di Simon Kirby dell'Università di Edimburgo e altri linguisti fanno pensare che le strutture linguistiche derivino dall'uso ripetuto della parola per generazioni in modo da trasmettere idee. In un processo circolare ripetuto innumerevoli volte, un parlante trasmette ad altri un certo concetto ❶ mediante qualche stringa delle parole che ha appreso fino ad allora. La capacità di trasmettere un'idea con coerenza dipende dalle capacità cognitive ereditate dai genitori. I riceventi di un enunciato lo capiscono meglio che possono e poi lo passano ad altri membri della comunità ❷, modificandolo. Questi cambiamenti si accumulano di generazione in generazione nella cultura. Si ipotizza che se qualcuno riesce a padroneggiare meglio degli altri il discorso emergente della comunità, avrà maggiori probabilità di trasmettere i propri geni. Con il tempo, dunque, i perfezionamenti culturali accumulati influenzano le proprietà biologiche ❸. Da questa babele emerge un ordine mentre i parlanti cercano di imparare la lingua meglio che possono e convergono su un linguaggio strutturato, abbastanza facile da imparare e utile per trasmettere informazioni. Il linguaggio, quindi, emerge in tutta la sua complessità dalla cultura.



comunicare con gli esseri umani mediante semplici simboli visivi; agli scimpanzé no. «Sono le scimmie che non sono state circondate dagli esseri umani nello stesso modo che non seguono il gesto di puntare con il dito», spiega.

Il fatto che ai bonobo l'avevano insegnato esseri umani è stato usato per liquidare le loro capacità, dice Lyn, come se fossero contaminati. Per le stesse ragioni non è stato dato peso a ricerche con pappagalli, delfini e altri animali. Ma Lyn sostiene che anche animali addestrati dagli esseri umani danno indicazioni valide. Se creature con corpi e cervelli diversi possono apprendere capacità comunicative analoghe a quelle umane, vuol dire che il linguaggio non va definito come interamente umano e separato dal resto del mondo animale. Inoltre, se il linguaggio può essere influenzato dagli aspetti biologici, non ne è per forza determinato. Nel caso dei bonobo era stata la cultura, non la biologia, a fare la differenza.

Il codice genetico

L'elenco delle capacità che si pensava facessero parte unicamente del linguaggio umano è in realtà assai lungo. Per esempio include le parti del discorso, come le parole. I cercopitechi verdi usano segnali d'allarme simili a parole per indicare pericoli specifici. Un altro aspetto cruciale è la struttura: dato che abbiamo la sintassi, possiamo produrre un numero infinito di nuove frasi e significati e capire frasi mai sentite prima. Però un uccello come il diamante mandarino ha canti di struttura complicata, i delfini sono in grado di capire differenze dovute all'ordine delle parole e anche alcune scimmie in natura sembrano usare un certo tipo di richiamo per modificarne un altro. L'elenco si estende a certi tipi di cognizione, come la teoria della mente, che è la capacità di inferire gli stati mentali altrui. E delfini e scimpanzé sono bravissimi a capire che cosa vuole un interlocutore. Anche la capacità di pensare i numeri, già ritenuta esclusiva, è caduta lungo la strada: le api capiscono il concetto di zero, api e macachi rhesus possono contare fino a quattro e i cormorani usati per la pesca in Cina pare che arrivino fino a sette.

L'elenco comprende anche alcuni geni. Il famoso *FOXP2*, descritto un tempo come il gene del linguaggio, influisce in effetti sulle capacità linguistiche – se mutato rovina l'articolazione – ma svolge anche altri ruoli. Non c'è alcun modo semplice per distinguere i diversi effetti. I geni sono decisivi per capire le origini evolutive del linguaggio, dice Simon Fisher, genetista del Max-Planck-Institut für Psycholinguistik di Nimega, nei Paesi Bassi, ma

Grafica di Federica Fragapane

«dobbiamo tener presente che cosa fanno in realtà». Per riassumere in breve un processo incredibilmente complesso: i geni codificano per proteine, che poi influenzano le cellule, alcune delle quali sono cellule cerebrali inserite in circuiti neurali; ed è a questi circuiti, alla fine, che si deve il comportamento. «Potrebbe esserci una rete di geni importanti per l'elaborazione sintattica e la facoltà di parola – spiega Fisher – ma non può esserci un uico gene che magicamente codifichi per tutta una serie di capacità coordinate».

L'elenco di questi tratti non più solo umani comprende anche meccanismi cerebrali. Stiamo scoprendo che i circuiti neurali possono sviluppare una pluralità di usi. Uno studio recente ha mostrato che alcuni circuiti neurali che sono alla base dell'apprendimento del linguaggio possono anche essere usati per ricordare elenchi o acquisire abilità complesse, come imparare a guidare. E infatti, le versioni animali di questi circuiti sono usate per risolvere problemi analoghi: nel caso dei ratti trovare la strada in un labirinto.

Mchael Arbib, scienziato cognitivo dell'Università della California a San Diego, nota che gli esseri umani hanno creato «un mondo materiale e mentale di complessità crescente», eppure i bambini, che nascano in un mondo di treni a vapore o in mezzo agli *smartphone*, sono in grado di impadronirsi di almeno qualche parte di esso senza modifiche di tipo biologico. «Per quanto ne sappiamo – dice Arbib – l'unico tipo di cervello capace di farlo, sulla Terra, è il cervello umano». Che però, sottolinea, è solo una parte di un sistema complesso che include anche il corpo: «Se avessero le mani, magari questo mondo lo avrebbero sviluppato i delfini».

Per capire il mondo umano, anzi, non basta un cervello in un corpo, ci vuole anche un gruppo di cervelli interagenti come parte del mondo sociale umano. Arbib lo chiama approccio EvoDevoSocio. L'evoluzione biologica influenza lo sviluppo e l'apprendimento degli individui, e gli individui che apprendono plasmano l'evoluzione della cultura; la cultura, a sua volta, può plasmare l'apprendimento. Per capire il linguaggio, dobbiamo considerare il cervello umano nel quadro di questi sistemi. L'evoluzione del linguaggio ha avuto una molteplicità di cause, dice Arbib. Non è scattato un interruttore, ma c'è stato un gran numero di interruttori. E non è successo tutto in una volta ma c'è voluto molto tempo.

Una rivoluzione culturale

La cultura ha avuto un ruolo decisivo anche per Simon Kirby, scienziato cognitivo che dirige il Center for Language Evolution dell'Università di Edimburgo, nel Regno Unito. Fin dall'inizio Kirby è stato affascinato dall'idea che il linguaggio non solo si impara dagli altri, ma è trasmesso agli allievi di generazione in generazione. Che effetto hanno avuto questi ripetuti atti di apprendimento sul linguaggio?

Kirby ha iniziato a studiare la questione costruendo un metodo nuovo per esplorare l'evoluzione del linguaggio. Invece di guardare agli animali o agli esseri umani, ha realizzato modelli digitali dei parlanti, chiamandoli agenti, che poi ha alimentato con stringhe casuali e confuse di parole. I suoi agenti, dotati di intelligenza artificiale, dovevano apprendere la lingua da altri agenti, ma poi dovevano anche insegnarla ad altri agenti ancora. Kirby li ha fatti andare avanti per molte generazioni di allievi e insegnanti per vedere come cambiava il linguaggio. Lui stesso paragona il compito al gioco del telefono senza fili, in cui un messaggio è passato da una persona all'altra e alla fine può risultare molto diverso dall'originale.

Kirby ha trovato che i suoi agenti digitali tendevano a produrre *output* più strutturati degli *input* ricevuti in entrata. Anche se all'inizio le stringhe di parole date loro erano casuali, a volte una stringa poteva sembrare dotata, per caso, di un minimo di ordine. La cosa decisiva è che gli agenti prendevano quella struttura e la generalizzavano. «Gli allievi, se preferite, avevano l'allucinazione che ci fosse una struttura nell'input», dice Kirby. Dopo aver visto una struttura dove non c'era, gli agenti hanno riprodotto più struttura in quello che dicevano.

I cambiamenti possono essere minuscoli, nota Kirby, ma nel corso delle generazioni «il processo si amplifica a valanga». La cosa stimolante è che dopo molte generazioni non solo il linguaggio degli agenti cominciava a sembrare sempre più strutturato, ma la struttura che è emersa somiglia a una versione semplificata di quella che si trova nel linguaggio naturale umano. In seguito Kirby ha testato una serie di modelli differenti, alimentandoli con dati di tipo diverso, trovando però che «l'accrescimento cumulativo della struttura linguistica sembrava verificarsi sempre, a prescindere da come costruivamo i modelli». Il crogiolo in cui nasceva il linguaggio stesso, insomma, era la continua ripetizione dell'apprendimento.

Non esiste un unico gene, mutazione o circuito cerebrale che spieghi il linguaggio

Ora Kirby sta replicando i suoi esperimenti digitali nel mondo reale con esseri umani e animali, facendo ripetere loro ciò che imparano. E sta trovando che in effetti in questo modo si producono strutture. Questa scoperta aiuta anche a capire perché non si riesca mai a indicare precisamente quale sia il singolo gene o la singola mutazione o il singolo circuito cerebrale che spiega il linguaggio: non c'è e basta. Il linguaggio sembra emergere da una combinazione di tratti biologici, apprendimento individuale e trasmissione inter-individuale. I tre sistemi si svolgono su scale temporali del tutto diverse, ma quando si combinano insieme succede una cosa straordinaria: nasce il linguaggio.

Nella breve storia degli studi sull'origine del linguaggio, nessuno ha trovato il Santo Graal: un evento che definisca e spieghi il linguaggio. Ma il lavoro dei ricercatori ha reso questo obiettivo in qualche modo irrilevante. Certo, il linguaggio è probabilmente il tratto biologico più esclusivo del nostro pianeta. Ma è molto più fragile, fortuito e contingente di quanto chiunque avrebbe potuto immaginare. ■

PER APPROFONDIRE

The First Word: The Search for the Origins of Language. Kenneally C., Viking, 2007.

How the Brain Got Language: The Mirror System Hypothesis. Arbib M.A., Oxford University Press, 2012.

Culture and Biology in the Origins of Linguistic Structure. Kirby S., in «Psychonomic Bulletin & Review», Vol. 24, n. 1, pp. 118-137, febbraio 2017.

The Question of Capacity: Why Enculturated and Trained Animals Have Much to Tell Us about the Evolution of Language. Lyn H., in «Psychonomic Bulletin & Review», Vol. 24, n. 1, pp. 85-90, febbraio 2017.

Un nuovo modo di vedere il linguaggio. Ibbotson P. e Tomasello, M., in «Le Scienze» n. 579, novembre 2016.

I CIRCUITI DEL CERVELLO UMANO SONO SPECIALI?

PARTI DEL CERVELLO COINVOLTE NEL LINGUAGGIO E NEL PENSIERO ASTRATTO SI SONO AMPLIATE NOTEVOLMENTE NEL CORSO DELL'EVOLUZIONE

di Chet C. Sherwood

Gli esseri umani sono sproporzionati. Il nostro cervello è tre volte più grande di quello dei nostri antenati ominini più primitivi e dei nostri cugini viventi, le scimmie antropomorfe. Negli animali, la dimensione del cervello ha una stretta correlazione con la dimensione del corpo, ma gli esseri umani sono un'eccezione estrema, quando li misuriamo rispetto a questa tipica relazione di scala. Il cervello umano adulto pesa circa 1300 grammi, e ciò corrisponde approssimativamente al 2 per cento del peso corporeo. Tuttavia esso consuma uno sproporzionato 20 per cento del bilancio energetico dell'organismo, a causa dei livelli elevati di attività elettrica dei neuroni e del combustibile metabolico che usa per trasmettere segnali chimici da una cellula nervosa alla successiva.

Confronti dettagliati di cervelli umani con quelli dei nostri più stretti cugini primati viventi, scimpanzé inclusi, hanno mostrato che le parti della corteccia cerebrale coinvolte in funzioni cognitive di ordine superiore, come il linguaggio e il pensiero astratto, sono diventate particolarmente voluminose. Queste aree corticali, conosciute come aree associative, maturano relativamente tardi nello sviluppo postnatale. Alcune connessioni neurali a lungo raggio che collegano queste aree associative tra loro e con il cervelletto (che svolge un ruolo nel movimento volontario e nell'apprendimento di nuove abilità) sono più numerose nel cervello umano rispetto a quello di altri primati. Queste reti umane potenziate sono la sede del linguaggio, della fabbricazione di utensili e dell'imitazione. Persino antichi sistemi di ricompensa in un'area sottocorticale conosciuta come striato – una sede di attività della dopamina, una molecola di trasmissione di segnali nel cervello – sembrano essersi riplasmati nell'evoluzione del cervello umano. Questo cambiamento, verosimilmente, aumenta molto l'attenzione per i segnali sociali e favorisce l'apprendimento del linguaggio.

Qual è l'origine del nostro grosso cervello? La documentazione fossile degli ominini indica una tendenza generale verso un aumento della capacità cranica negli ultimi 6 milioni di anni circa. Vale a dire, da quando la nostra linea evolutiva si è separata dagli ultimi antenati che avevamo in comune con gli scimpanzé e i bonobo.

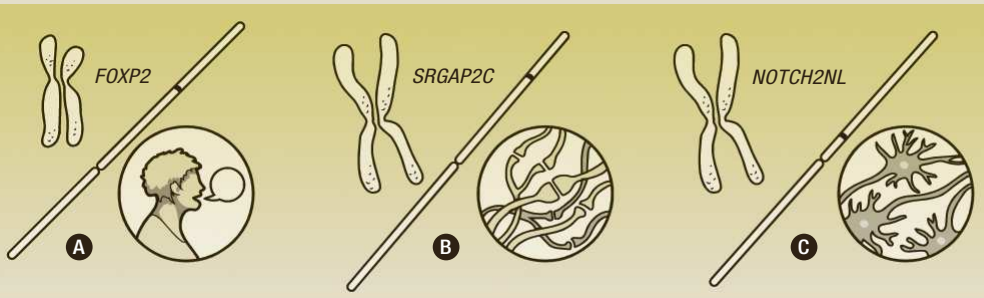
Gli scienziati ritengono che al nostro più voluminoso cervello sia associato un complesso di caratteristiche correlate fra loro: una crescita più lenta nei diversi stadi dell'infanzia, una maggiore durata della vita e un maggiore coinvolgimento dei padri e dei nonni nella crescita dei figli, come assistenti delle madri. Estendere la crescita del cervello dopo la nascita vuol dire che eventi significativi che fanno da fondamento dei processi cognitivi avvengono in un ricco contesto sociale ed ecologico.

Un altro indizio di che cosa ci rende differenti dagli scimpanzé e da altre specie intelligenti deriva da ricerche convincenti che hanno scoperto variazioni genetiche e molecolari avvenute durante il lungo corso dell'evoluzione del cervello.

A fronte e nelle pagine seguenti, uno sguardo ad alcuni tratti distintivi del cervello umano. ■

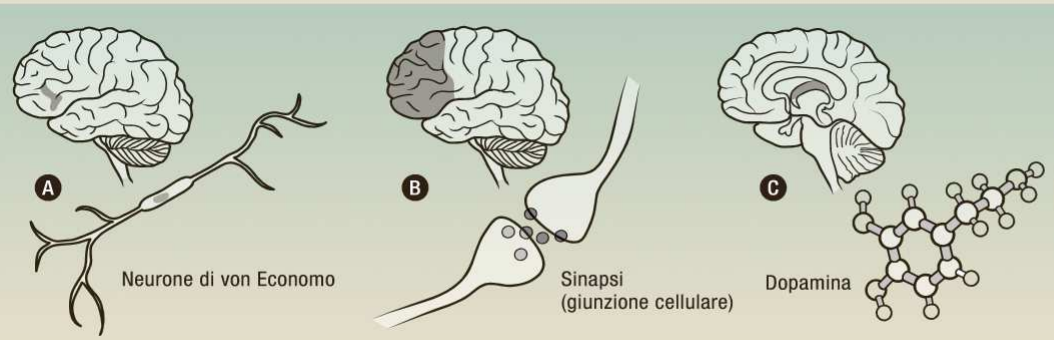
Chet C. Sherwood è docente di antropologia alla George Washington University. I suoi studi vertono sull'evoluzione del cervello nei primati e in altri mammiferi.

Grafica di Mesa Schumacher



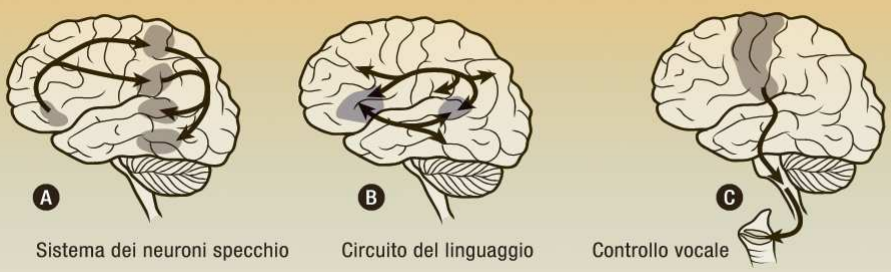
Geni

La forma variante del gene *FOXP2*, scoperto nell'uomo, ha un ruolo nell'apprendimento vocale **A**. Il gene *SRGAP2C* – una duplicazione unica di *SRGAP2*, presente esclusivamente nell'uomo – aumenta la densità delle connessioni neurali **B**. Una versione umana del gene *NOTCH*, conosciuto come *NOTCH2NL*, ha tre copie e contribuisce alla produzione di neuroni **C**.



Cellule

I neuroni di von Economo, cruciali nei circuiti sociali ed emotivi del cervello, sono più grandi negli esseri umani **A**. L'RNA che trasporta messaggi per istruire le cellule a fabbricare proteine è più attivo nella corteccia prefrontale umana che in quella di altri primati **B**. Le cellule producono una maggiore quantità del neurotrasmettitore dopamina nello striato. La dopamina è coinvolta in varie funzioni cognitive **C**.

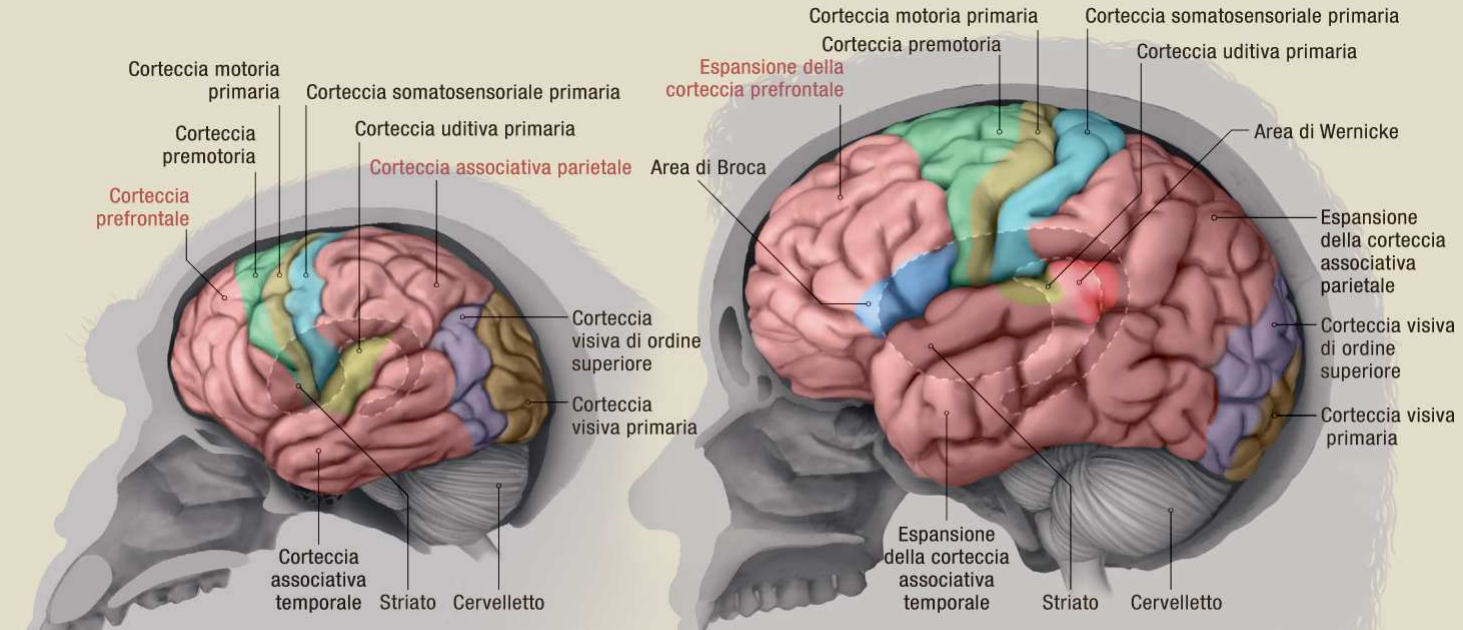


Circuiti

Il sistema dei neuroni specchio, attivato quando si osservano le azioni di altri individui, ha circuiti complessi negli esseri umani **A**. Connessioni ampliate tra due sedi – le aree di Wernicke e di Broca – formano un circuito vitale per l'elaborazione del linguaggio **B**. Un collegamento tra la corteccia motoria e il tronco cerebrale coordina i muscoli della laringe ed è assente negli scimpanzé e nei macachi **C**.

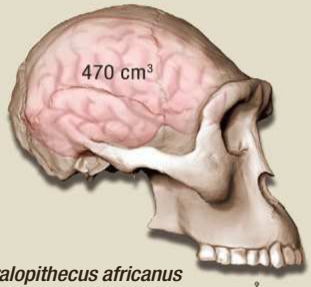
Espansione delle regioni cerebrali

Le aree cerebrali responsabili di funzioni cognitive superiori sono cresciute oltre misura nell'uomo, se le confrontiamo alle stesse regioni negli scimpanzé. Tra queste vi sono la corteccia prefrontale e la corteccia temporale, dove si trova, per esempio, un centro essenziale per la memoria.



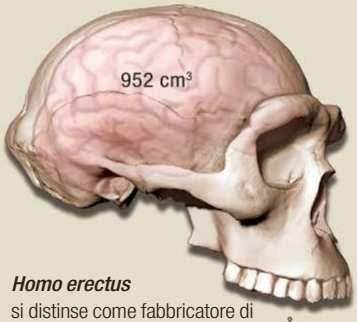
Le conseguenze di un grande cervello

L'ultimo antenato comune che l'uomo ha condiviso con gli scimpanzé e i bonobo visse tra i 6 e gli 8 milioni di anni fa. Dopo la separazione delle due linee si verificarono vari adattamenti evolutivi: il bipedismo, la fabbricazione di utensili e, in particolare, un aumento delle dimensioni del cervello in alcune specie di ominini, un processo che è andato via via accelerando con il passare del tempo.



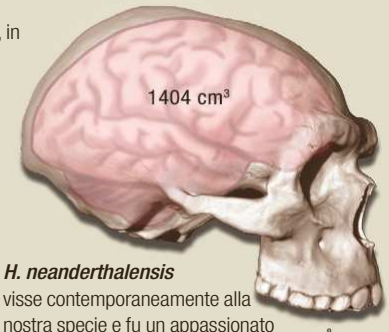
Australopithecus africanus
combinava caratteristiche umane e delle scimmie antropomorfe. Il suo volume cerebrale di 470 centimetri cubi era affine a quello degli scimpanzé.

3,3-2,1 milioni di anni



Homo erectus
si distinse come fabbricatore di utensili, costruendo asce a mano ed espandendo il suo ambiente al di fuori dell'Africa.

1,9 milioni di anni-143.000 anni



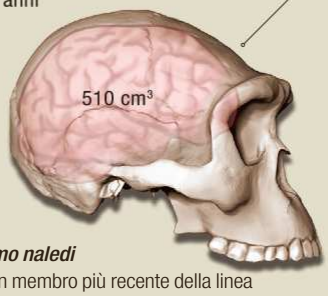
H. neanderthalensis
visse contemporaneamente alla nostra specie e fu un appassionato cacciatore, un utilizzatore del fuoco e di utensili. La sua scatola cranica, pari a 1404 cm³, era confrontabile per volume alla nostra.

400.000-40.000 anni

335.000-236.000 anni

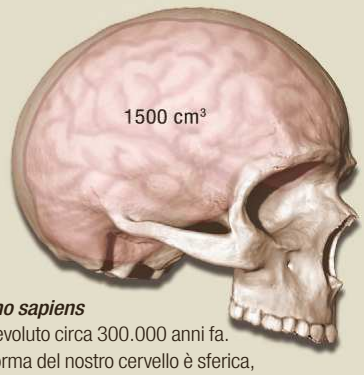
2,1-1,6 milioni di anni

Homo habilis
fu uno dei primi membri del genere *Homo*. Aveva un volto più piccolo dei suoi antenati e sviluppò aree frontali correlate al linguaggio.



Homo naledi
fu un membro più recente della linea umana, la cui storia dimostra che l'evoluzione non sempre si muove per linee rette. La sua scatola cranica più piccola era pari a 510 cm³.

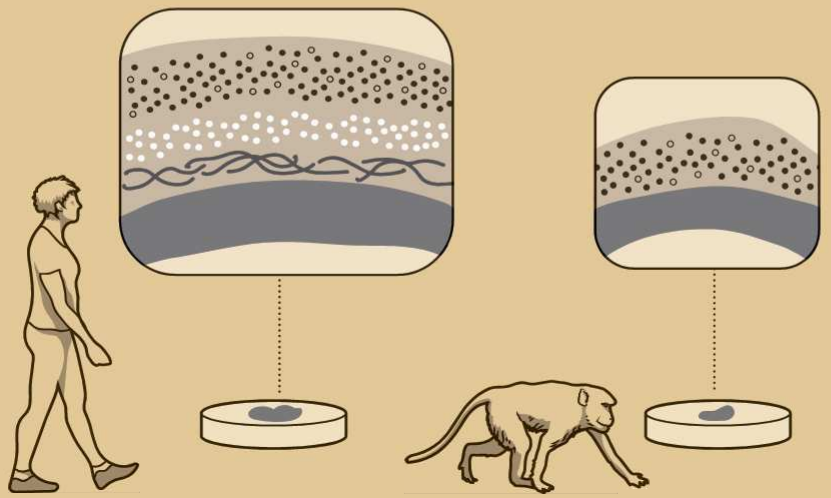
300.000 anni-presente



Homo sapiens
si è evoluto circa 300.000 anni fa. La forma del nostro cervello è sferica, o globulare, per via della forma arrotondata dell'area parietale e del cervelletto.

Mini cervelli

Fornire nutrienti a gruppi di cellule staminali *in vitro* permette loro di formare mini cervelli. Questi organoidi cerebrali consistono di intere sezioni di cervello, come la corteccia di un essere umano o di una scimmia (*vista in sezione trasversale*). Questi ingegnosi strumenti di ricerca consentono di confrontare l'attività dei geni e lo sviluppo di circuiti neurali negli organoidi con l'attività di cervelli reali nell'uomo, nei primati non umani e in altre specie, fornendo un quadro più chiaro di che cosa ci rende unici.



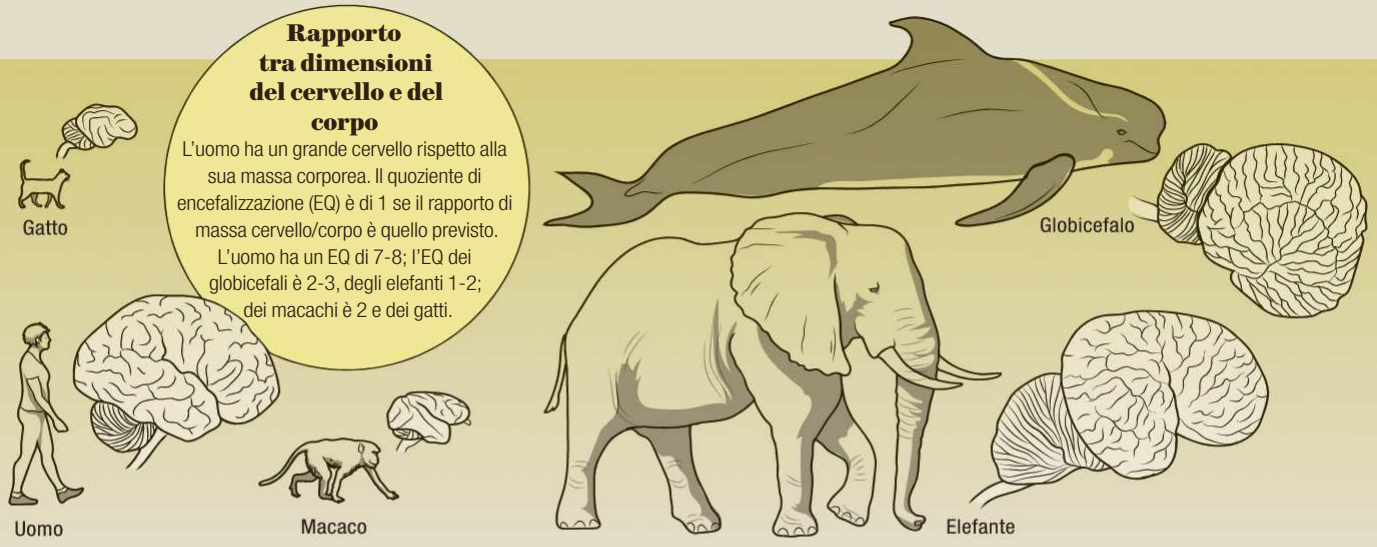
Come cresce il nostro cervello

A confronto con altri primati, i neonati umani hanno un cervello ancora poco sviluppato, che cresce più rapidamente nel primo anno dopo la nascita e si stabilizza anni dopo con un volume circa tre volte maggiore di quello di uno scimpanzé.

FONTI: *Developmental Patterns of Chimpanzee Cerebral Tissues Provide Important Clues for Understanding the Remarkable Enlargement of the Human Brain*, di T. Sakai e altri, in «Proceedings of the Royal Society B», Vol. 270, 22 febbraio 2013 (*espansione area cerebrale*); *Mammalian Brains Are Made of These: A Dataset of the Numbers and Densities of Neuronal and Nonneuronal Cells in the Brain of Glires, Primates, Scandentia, Eulipotyphlans, Afrotherians and Artiodactyls, and Their Relationship with Body Mass*, di S. Herculano-Houzel e altri, in «Brain, Behavior and Evolution», Vol. 86, dicembre 2015 (*numero neuroni uomo e macaco*); *Dogs Have the Most Neurons, though Not the Largest Brain: Trade-Off between Body Mass and Number of Neurons in the Cerebral Cortex of Large Carnivoran Species*, di D. Jardim-Messeder e altri, in «Frontiers in Neuroanatomy», Vol. 11, dicembre 2017 (*numero neuroni gatto*); *Quantitative Relationships in Delphinid Neocortex*, di H.S. Mortensen e altri, in «Frontiers in Neuroanatomy», Vol. 8, novembre 2014 (*numero neuroni globicefali*); *Cortical Cell and Neuron Density Estimates in One Chimpanzee Hemisphere*, di C.E. Collins e altri, in «PNAS», Vol. 113, n. 3, 19 gennaio 2016 (*numero neuroni scimpanzé*); *Human Evolutionary History*, di E.K. Boyle e B. Wood, in *Evolution of Nervous Systems*, a cura di J.H. Kaas, Academic Press, 2017 (*evoluzione ominini*); Smithsonian National Museum of Natural History, http://humanorigins.si.edu (*cronologia specie ominini*)

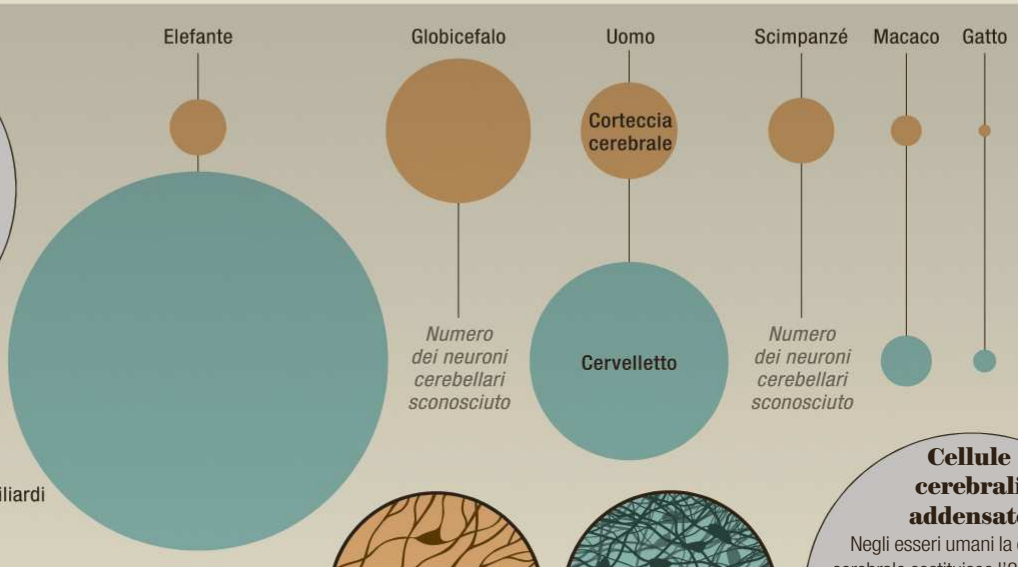
Rapporto tra dimensioni del cervello e del corpo

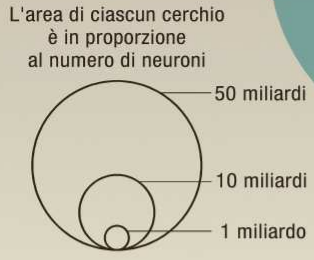
L'uomo ha un grande cervello rispetto alla sua massa corporea. Il quoziente di encefalizzazione (EQ) è di 1 se il rapporto di massa cervello/corpo è quello previsto. L'uomo ha un EQ di 7-8; l'EQ dei globicefali è 2-3, degli elefanti 1-2; dei macachi è 2 e dei gatti.

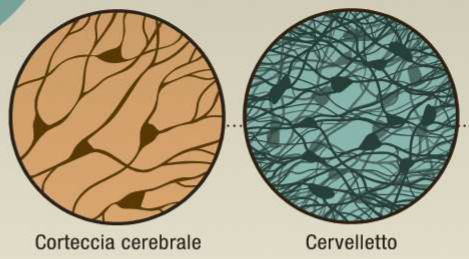


Numero di neuroni

Una misura molto studiata del potere cerebrale riguarda il numero di neuroni di un animale e il luogo in cui si trovano. Gli esseri umani hanno più neuroni nella corteccia cerebrale, 16 miliardi, di quasi ogni altro mammifero, benché i delfini globicefali ne abbiano di più.

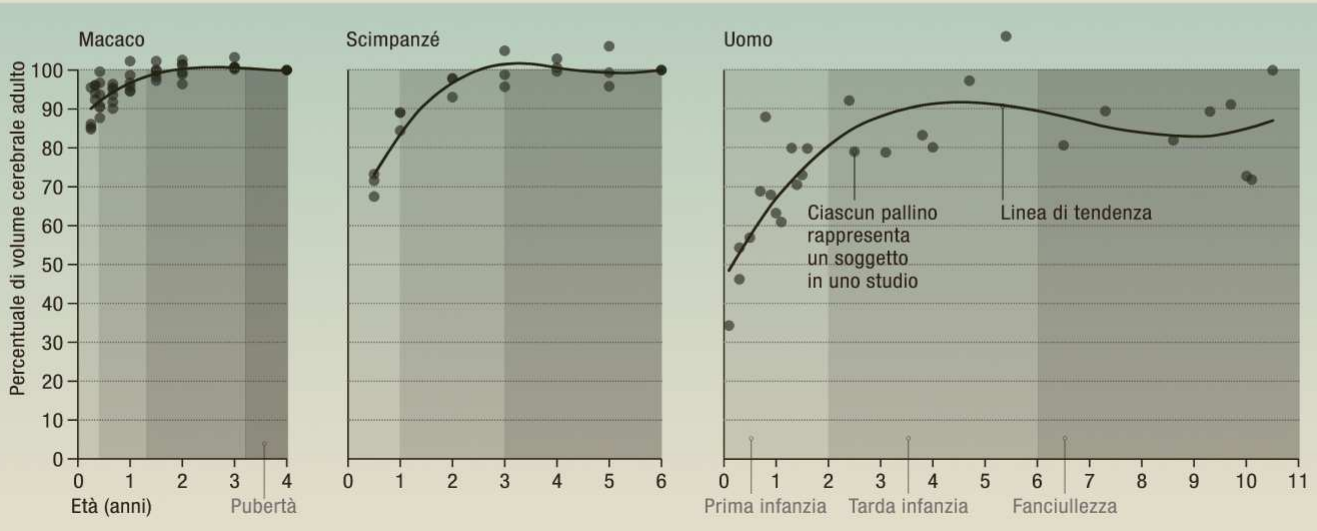






Cellule cerebrali addensate

Negli esseri umani la corteccia cerebrale costituisce l'82 per cento della massa cerebrale, ma contiene solo il 19 per cento dei neuroni totali; il cervelletto invece contiene circa l'80 per cento dei neuroni, ma occupa soltanto il 10 per cento della massa.



PERCHÉ HOMO SAPIENS È STATO L'UNICO A SOPRAVVIVERE FINO A OGGI?

L'ULTIMO RIMASTO

di Kate Wong

Illustrazione di Yuko Shimizu

Kate Wong, *senior editor* di «Scientific American», tratta di evoluzione ed ecologia.

Agli albori di *Homo sapiens*, i nostri antenati nascevano in un mondo che noi troveremmo surreale. Non tanto perché fossero diversi il clima e il livello dei mari, o le piante e gli animali, – anche se ovviamente lo erano – quanto perché contemporaneamente erano ancora vive anche altre specie di esseri umani. Erano parecchi, gli *Homo* che si sono aggirati sul pianeta per la maggior parte dell'esistenza di *H. sapiens*. In Africa, dove la nostra specie ha avuto orgine, c'era anche *Homo heidelbergensis*, dal grande cervello, e *Homo naledi*, dal cervello piccolo.

In Asia c'era *Homo erectus*, il misterioso gruppo dei Denisovani e, più tardi, *Homo floresiensis*, una specie di hobbit, piccolo di statura e di cervello ma dai grandi piedi. I tarchiati Neanderthal dalle pesanti sopracciglia spadroneggiavano in Europa e nell'Asia occidentale. E probabilmente ce n'erano altri che ancora non sono stati scoperti.

Circa 40.000 anni fa, stando alle prove di cui disponiamo oggi, *H. sapiens* si ritrovò da solo, unico sopravvissuto di quella che un tempo era una famiglia incredibilmente diversificata di primati bipedi, collettivamente detti ominini. (In questo articolo, i termini «umano» e «ominino» si riferiscono entrambi sia a *H. sapiens* sia ai suoi parenti estinti.) Come ha fatto il nostro gruppo a restare l'ultimo ancora in circolazione?

Fino a qualche anno fa gli scienziati propendevano per una spiegazione semplice: *H. sapiens* è insorto relativamente di recente, più o meno nella sua forma attuale, in un'unica regione africana, e da lì si è diffuso soppiantando i Neanderthal e le altre specie umane arcaiche che incontrava lungo la via. Non ci fu fraternizzazione fra specie diverse, ma una completa sostituzione dei vecchi abitanti con i nuovi arrivati, intelligenti e abili, la cui ascesa sembrava esser stata inevitabile.

Ma prove crescenti, dovute a scoperte di fossili e resti archeologici, oltre che alle analisi del DNA, hanno spinto gli esperti a rivedere questo scenario. Sembra che *H. sapiens* abbia avuto origine molto prima di quanto si riteneva, forse in vari punti dell'Africa invece che in un'unica regione, e che alcuni dei suoi tratti distintivi – compresi certi aspetti del cervello – si siano evoluti in ordine sparso. In più, è ormai chiaro che *H. sapiens* si è mescolato con altre specie umane incontrate, e che questi incroci potrebbero essere stato un fattore essenziale del nostro successo.

Nel loro complesso queste scoperte tracciano un quadro delle nostre origini assai più complesso di quello che avevano concepito molti ricercatori; un quadro in cui, peraltro, il successo del nostro gruppo è stato questione più di fortuna che di destino.

Una teoria che traballa

Il dibattito sull'origine della nostra specie si è tradizionalmente focalizzato su due modelli. Da un lato c'era l'ipotesi dell'origine africana recente, sostenuta tra gli altri dal paleoantropologo Christopher Stringer, secondo cui *Homo sapiens* sarebbe venuto al mondo nelle regioni orientali o meridionali dell'Africa negli ultimi 200.000 anni e, grazie alla sua intrinseca superiorità, avrebbe poi sostituito le specie ominine arcaiche di tutto il mondo senza incrociarsi con esse in misura significativa. Dall'altro lato c'era l'ipotesi dell'evoluzione multiregionale, formulata dai paleoantropologi Milford Wolpoff, Xinzhi Wu e Alan Thorne, secondo cui il moderno *H. sapiens* si è evoluto a partire da popolazioni umane arcaiche, neanderthaliane e non, di tutto il Vecchio Mondo, connesse fra loro attraverso migrazioni e accoppiamenti. In tal caso le radici di *H. sapiens* sarebbero assai più antiche, risalendo fino a quasi 2 milioni di anni fa.

Verso l'inizio del XXI secolo il modello dell'origine africana recente aveva molte prove a favore. Le analisi del DNA dei viventi indicavano che la nostra specie aveva avuto origine non più di 200.000 anni fa. I più antichi fossili noti venivano da due siti etiopici, Omo e Herto, datati rispettivamente a circa 195.000 e circa 160.000 anni fa. E le sequenze di DNA mitocondriale (i piccoli anelli di materiale genetico delle «centrali energetiche» delle cellule, diversi dal DNA contenuto nei nuclei cellulari) recuperate dai fossili neanderthaliani erano distinte da quelle del DNA mitocondriale degli esseri umani attuali, come era logico se *H. sapiens* avesse sostituito le specie arcaiche senza accoppiarsi con esse.

IN BREVE

Fino a non molto tempo fa il modello dominante delle origini dell'uomo diceva che *Homo sapiens* era emerso in un'unica regione africana, per poi rimpiazzare le specie umane arcaiche in tutto il Vecchio Mondo senza incrociarsi con esse.

Nuove osservazioni, di natura archeologica, paleontologica e genetica, danno oggi motivo di rivedere questa storia.

Le ricerche più recenti suggeriscono che *H. sapiens* sia emerso da gruppi sparsi per tutta l'Africa e che al nostro successo abbiano contribuito gli incroci con altre specie umane.

Stephane de Sakutin/AFP/Getty Images

Il contributo dei Neanderthal al nostro pool genetico è pari al 2 per cento circa del DNA degli eurasiatici. A fianco, alcuni dei crani di Neanderthal in esposizione a Parigi nell'ambito della mostra sulla specie presso il Musée de l'Homme.

Ma non tutti i dati rientrano bene in questa storia così ordinata. Molti archeologi pensano che l'inizio della fase culturale chiamata Mesolitico abbia segnato l'emergere di esseri che stavano cominciando a pensare come noi. Prima di questo passaggio le specie umane arcaiche di tutto il Vecchio Mondo fabbricavano grosso modo sempre gli stessi tipi di utensili in pietra, nel cosiddetto stile acheuleano. Al centro della tecnologia acheuleana c'era la produzione di pesanti asce da pugno fabbricate prendendo un pezzo di pietra e staccandone via via delle schegge finché assumevano la forma voluta.

Con l'arrivo del Mesolitico i nostri antenati invertirono il processo di fabbricazione concentrandosi sulle schegge, piccole e taglienti, staccate da un nucleo: un uso più efficiente della materia prima, che richiedeva una raffinata programmazione. E cominciarono a munire queste schegge taglienti di manici realizzando lance e altre armi da getto. Inoltre, alcuni dei fabbricanti di strumenti mesolitici producevano anche oggetti associati a comportamenti simbolici, come conchiglie usate come gioielli e pigmenti per dipingere. L'adozione di comportamenti simbolici, fra cui il linguaggio, è considerata uno dei segni distintivi della mente moderna.

Il problema è che le datazioni mesolitiche più antiche risalgono a oltre 250.000 anni fa, di gran lunga prima dei più antichi fossili di *H. sapiens*, che hanno meno di 200.000 anni. Era stata un'altra specie umana a inventare il Mesolitico, oppure *H. sapiens* era emerso assai prima di quanto sembravano indicare i fossili?

Nel 2010 è stata notata un'altra crepa. Alcuni genetisti hanno annunciato di aver recuperato e sequenziato DNA nucleare da fossili neanderthaliani. Il DNA nucleare costituisce la massima parte del nostro materiale genetico; il confronto tra il DNA nucleare dei Neanderthal e quello degli esseri umani viventi ha mostrato che oggi i non africani sono portatori di DNA proveniente dai Neanderthal, rivelando così che in realtà *H. sapiens* e Neanderthal si sono incrociati, almeno occasionalmente.

I successivi studi sui genomi ancestrali hanno confermato che i Neanderthal hanno contribuito al pool genetico degli esseri umani moderni, e che lo hanno fatto anche altri esseri umani arcaici. Inoltre, contrariamente all'idea che *H. sapiens* avesse avuto origine negli ultimi 200.000 anni, i DNA antichi suggeriscono che la divergenza di Neanderthal e *H. sapiens* da un antenato comune sia iniziata considerevolmente prima, forse anche più di mezzo milione di anni fa. In questo caso, le origini di *H. sapiens* sarebbero oltre due volte più antiche di quanto indicava l'archivio fossile.

Antiche radici

Recenti scoperte in un sito chiamato Jebel Irhoud, in Marocco, sono servite a far concordare meglio le prove fossili, culturali e genetiche, rafforzando così una nuova prospettiva sulle nostre origini. Nel 1961, quando furono scoperti i primi fossili in una miniera di barite del sito, gli antropologi ritennero che le ossa avessero circa 40.000 anni e appartenessero all'uomo di Neanderthal. Ma gli scavi e le analisi proseguiti nel tempo hanno condotto i ricercatori a rivedere queste valutazioni. Nel giugno 2017 il paleoantropologo Jean-Jacques Hublin, del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, e i suoi colleghi hanno annunciato di aver recuperato dal sito ulteriori fossili, accanto a utensili mesolitici. Con due tecniche di datazione, hanno stimato che i resti hanno circa 315.000 anni. Sono le tracce più antiche (finora) lasciate da *Homo sapiens*, le più antiche tracce mesolitiche, e retrodatano le prove fossili della nostra specie di oltre 100.000 anni, collegandole alla prima apparizione nota del Mesolitico.

Non tutti concordano sul fatto che i fossili di Jebel Irhoud siano di *Homo sapiens*. Alcuni esperti pensano che invece possano provenire da un suo parente stretto. Ma se Hublin e collaboratori hanno ragione sull'identità di queste ossa la costellazione di tratti craniali che distingue *H. sapiens* dalle altre specie umane non è apparsa tutta in una volta all'inizio della nostra stirpe, come suppone la teoria dell'origine africana recente. Per esempio, quei fossili somigliano agli uomini attuali nelle ridotte dimensioni della faccia. Ma la scatola cranica è allungata come quella delle specie umane arcaiche, anziché arrotondata a cupola come la nostra. E la forma riflette differenze di organizzazione cerebrale: in confronto agli esseri umani pienamente moderni, negli individui di Jebel Irhoud erano più ridotti i lobi parietali, che elaborano i dati sensoriali in entrata, e il cervelletto, coinvolto fra l'altro nel linguaggio e nella cognizione sociale.

Neanche i resti archeologici di Jebel Irhoud, d'altra parte, pre-

sentano l'intero assetto dei caratteri mesolitici. Gli antichi abitatori del sito realizzavano utensili mesolitici per cacciare e macellare le gazzelle che abitavano nelle praterie dell'epoca. E usavano il fuoco, probabilmente per cuocere il cibo e scaldarsi la notte. Ma non hanno lasciato tracce di espressione simbolica. Nel complesso, anzi, non erano particolarmente più avanzati dei Neanderthal o di *H. heidelbergensis*.

Se si potesse viaggiare all'indietro nel tempo fino al debutto della nostra specie, non è detto che ci sembrerebbe destinata a vincere la lotteria dell'evoluzione. Anche se nei primi *H. sapiens* c'erano alcune innovazioni, «300.000 anni fa non c'erano novità così importanti da indicare che erano destinati al successo», osserva l'archeologo Michael Petraglia del Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte di Jena. «All'inizio di *H. sapiens* – dice Petraglia – il risultato della gara appariva del tutto aperto».

I giardini dell'Eden

Secondo molti esperti le caratteristiche di *H. sapiens* moderno si sono completate solo tra 100.000 e 40.000 anni fa. Che cosa è avvenuto in quei 200.000 anni o più per trasformare la nostra specie da un ominino tra i tanti in una forza della natura capace di conquistare il mondo? Gli scienziati riflettono sempre più spesso su come possono aver pesato in questa metamorfosi le dimensioni e la struttura della popolazione primitiva di *H. sapiens*. Un lavoro pubblicato on line a luglio su «Trends in Ecology & Evolution» dall'archeologa Eleanor Scerri, dell'Università di Oxford, con un ampio gruppo interdisciplinare di coautori, fra cui Stringer, propone per l'evoluzione di *H. sapiens* un modello chiamato «multiregionalismo africano». Gli autori osservano che i primi probabili rappresentanti della nostra specie – vale a dire i fossili di Jebel Irhoud in Marocco, quelli di Herto e Omo Kibish in Etiopia e un cranio parziale rinvenuto a Florisbad, in Sudafrica – differiscono l'uno dall'altro molto di più degli esseri umani attuali, al punto che alcuni hanno sostenuto che appartengano a specie o sottospecie diverse. «Ma forse tra i primi *H. sapiens* c'era soltanto una diversità pazzesca», propone Scerri. E forse andare in cerca di un unica origine per la nostra specie «è come inseguire un fantasma», dice.

Quando Scerri e colleghi hanno esaminato gli ultimi dati ricavati da fossili, DNA e studi archeologici, la comparsa di *H. sapiens* ha cominciato ad apparire come un fenomeno panafricano, più che la storia di un'origine unica. Invece di evolvere come una piccola popolazione in una specifica regione dell'Africa, la nostra specie potrebbe essere emersa da una vasta popolazione suddivisa in piccoli gruppi distribuiti un po' in tutto il continente, spesso rimasti semiisolati per migliaia di anni dalle distanze e da barriere ecologiche come i deserti. Questi periodi di solitudine hanno consentito a ciascun gruppo di sviluppare i propri adattamenti biologici e tecnologici alla propria specifica nicchia, boschi xerofili, savane a prateria, foreste pluviali tropicali o coste marine che fossero. Ogni tanto però i gruppi entravano in contatto fra loro, e ciò ha consentito gli scambi sia genetici che culturali che hanno alimentato l'evoluzione della nostra linea di discendenza.

A provocare frammentazioni e ricongiungimenti delle sottopopolazioni potrebbero essere stati i mutamenti del clima. Per esempio, i dati paleoambientali mostrano che ogni 100.000 anni, più o meno, l'Africa entra in una fase umida che trasforma il proibitivo deserto del Sahara in una rigogliosa distesa di piante e laghi. Questi episodi di cosiddetto «Sahara verde» avrebbero permesso a popolazioni prima isolate da aspri deserti di entrare in rapporto. Quando poi il Sahara tornava a inaridirsi le varie popolazioni si trovavano di nuovo isolate per un altro periodo di esperimenti evoluzionistici separati, fino al nuovo ritorno della vegetazione.

Una popolazione divisa in gruppi, ciascuno adattato a una propria nicchia ecologica, ma tenuti in collegamento da occasionali migrazioni da un gruppo a un altro, spiegherebbe non solo l'evoluzione a mosaico dei tratti anatomici distintivi di *H. sapiens* ma anche l'andamento irregolare del Mesolitico, dicono Scerri e coautori. Contrariamente agli utensili acheuleani, che hanno forme sostanzialmente simili dovunque siano stati ritrovati in tutto il Vecchio Mondo, gli attrezzi mesolitici mostrano notevoli variazioni regionali. I siti nordafricani del periodo che va da 130.000 a 60.000 anni fa, per esempio, contengono tipi di strumenti che non si ritrovano nei siti sudafricani dello stesso intervallo di tempo, fra cui attrezzi litici con caratteristiche proiezioni che forse servivano da attacco per munirli di manici. Allo stesso modo, i siti sudafricani contengono esili attrezzi a forma di foglia fatti di pietra precedentemente riscaldata per migliorarne le caratteristiche di frattura; nessuno strumento del genere compare fra i resti nordafricani. Col tempo, tecnologie complesse e simbolismo diventano più comuni in tutto il continente, ma ogni gruppo agisce a modo suo, tagliando la sua cultura su una propria nicchia e su proprie usanze specifiche.

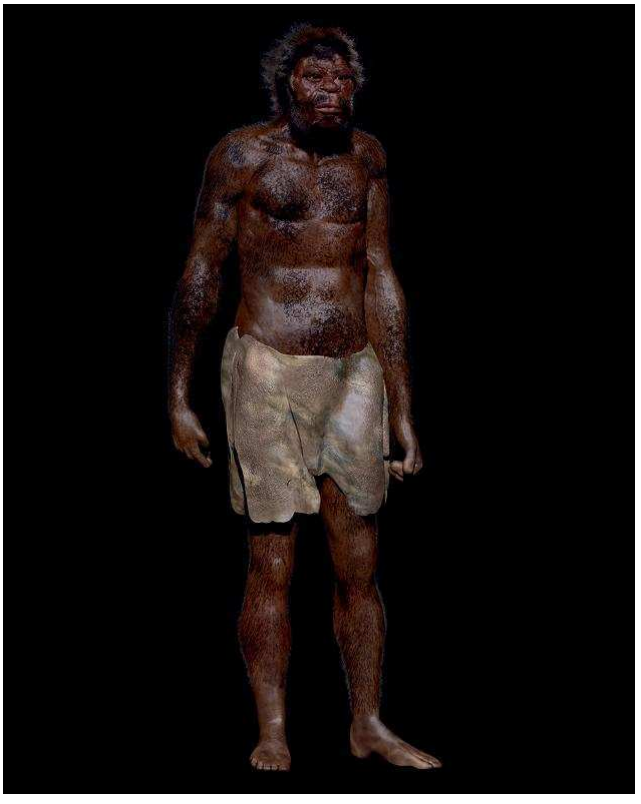
Forse abbiamo un serio debito di gratitudine verso i nostri parenti estinti per il loro contributo al nostro successo

Ma *H. sapiens* non è stato il solo ominino a evolvere verso cervello più grande e comportamenti raffinati. Hublin nota che alcuni fossili trovati in Cina e datati fra i 300.000 e i 50.000 anni fa, che sospetta essere di denisovani, hanno dimensioni cerebrali accresciute. E nel loro lungo regno i Neanderthal hanno inventato utensili complessi e proprie forme di espressione simbolica e connessione sociale. Tuttavia questi comportamenti non sembrano essersi sviluppati fino a divenire così essenziali per il loro stile di vita quanto lo sono stati per il nostro, osserva l'archeologo John Shea, della Stony Brook University, che ritiene che a consentire a *H. sapiens* di prevalere siano state le sue avanzate capacità di linguaggio.

«Questi gruppi si evolvono tutti nella stessa direzione», dice Hublin. «Ma la nostra specie attraversa prima delle altre una determinata soglia, fatta di abilità cognitive, complessità sociale e successo riproduttivo». E quando lo fa – circa 50.000 anni fa, stima Hublin – «è la goccia che fa traboccare il vaso». Plasmato e affinato in Africa, *H. sapiens* poteva ormai addentrarsi praticamente in tutti gli ambienti del pianeta, e prosperarvi inarrestabile.

Incontri ravvicinati

Centinaia di migliaia di anni di separazioni e ricongiungimenti fra gruppi della sua stessa specie potrebbero aver dato a *H. sapiens* un vantaggio sugli altri membri della famiglia umana. Ma non sono stati l'unico fattore della nostra ascesa al dominio del mondo. Forse abbiamo un serio debito di gratitudine verso i nostri parenti estinti per il contributo che hanno dato al nostro successo. Le specie umane arcaiche incontrate da *H. sapiens* nelle sue migrazioni non sono state solo concorrenti con cui competere, ma anche compagni con cui accoppiarsi. La prova è nel DNA degli es-



Datati 315.000 anni fa, i reperti di Jebel Irhoud sarebbero i più antichi fossili di *H. sapiens*. (Sopra, una ricostruzione.)

John Bavaro Fine Art/SPL

seri umani attuali: il DNA dei Neanderthal è circa il 2 per cento di quello degli eurasiatici; il DNA dei denisovani fino al 5 per cento di quello dei melanesiani. E un recente studio di Arun Darvasula e Sriram Sankararaman, dell'Università della California a Los Angeles, ha trovato che quasi l'8 per cento dell'ascendenza genetica della popolazione Yoruba dell'Africa occidentale risale a una specie arcaica sconosciuta (i ricercatori non hanno ancora recuperato DNA da confrontare con i fossili arcaici).

Una parte del DNA che *H. sapiens* ha ricevuto dagli ominini arcaici potrebbe aver aiutato la nostra specie ad adattarsi ai nuovi habitat incontrati nella marcia attraverso il globo. Jashua Akey, della Princeton University, ha studiato le sequenze neanderthaliane nelle popolazioni umane moderne, trovandone 15 ad alta frequenza, segno che producono conseguenze benefiche. Queste sequenze ad alta frequenza ricadono in due gruppi. Circa metà di esse influenza l'immunità. «Man mano che si disperdevano in nuovi ambienti, gli esseri umani moderni si trovavano esposti a nuovi agenti patogeni e virus», dice Akey. Grazie agli incroci, «potrebbero aver ereditato adattamenti dai Neanderthal, che erano già in grado di combattere meglio quei patogeni», spiega.

L'altra metà dei geni con alta frequenza trovati dal gruppo di Akey nelle popolazioni umane moderne è legata alla pelle, e comprende geni che ne influenzano i livelli di pigmentazione. I ricercatori avevano già teorizzato che gli individui di *H. sapiens* provenienti dall'Africa, che presumibilmente avevano la pelle scura a difesa dalle radiazioni ultraviolette dannose del Sole, nello spingersi a latitudini più settentrionali si sarebbero evoluti verso colorazioni più chiare per ottenere un sufficiente quantitativo di vitamina D, che il corpo acquisisce soprattutto attraverso l'esposizione al Sole. I geni legati alla pelle venuti dai Neanderthal potrebbero aver aiutato i nostri predecessori in questo senso.

I neanderthaliani non sono gli unici esseri umani arcaici che ci hanno dato geni utili. Per esempio, i tibetani dei nostri giorni devono ai denisovani una variante genica che li aiuta a tollerare un ridotto tenore di ossigeno. E alcune popolazioni africane contemporanee hanno ereditato da un ignoto antenato arcaico una variante genica che forse serve contro i batteri dannosi del cavo orale.

Incrociarsi con ominini arcaici che avevano alle spalle millenni di adattamento evolutivo alle condizioni locali potrebbe aver aiutato gli invasori *H. sapiens* ad adattarsi a nuovi ambienti più in fretta che se avessero dovuto attendere l'arrivo di mutazioni favorevoli nel proprio pool genico. Ma c'è un'altra faccia della medaglia: alcuni dei geni che abbiamo ricevuto in eredità dai neandertalhiani sono associati a depressione e ad altre malattie. Forse questi geni erano vantaggiosi in passato e hanno cominciato a causare problemi solo nel contesto degli stili di vita moderni. Oppure, suggerisce Akey, il rischio di sviluppare quelle condizioni è stato un prezzo tollerabile da pagare per i benefici conferiti da questi geni.

È possibile che gli esseri umani arcaici abbiano dato anche altro alla nostra specie, oltre al DNA. I ricercatori hanno sostenuto che il contatto fra gruppi umani divergenti ha probabilmente condotto a scambi culturali, e potrebbe anche aver stimolato l'innovazione. Per esempio l'arrivo di *H. sapiens* nell'Europa occidentale, dove già da tempo risiedevano i Neanderthal, coincise con un'insolita esplosione di creatività tecnologica e artistica in entrambi i gruppi. In passato alcuni esperti hanno suggerito che i neanderthaliani avessero semplicemente imitato i nuovi arrivati, più inventivi; ma forse è stata l'interazione fra i due gruppi a innescare un'esplosione culturale in entrambi.

In un certo senso, il fatto che *H. sapiens* si sia mescolato con altre linee di discendenza umane non dovrebbe sorprendere. «Sappiamo da molti esempi animali che l'ibridazione ha avuto un ruolo importante nell'evoluzione», osserva Rebecca Rogers Ackermann, bio-antropologa dell'Università di Città del Capo. «In alcuni casi può dare origine a popolazioni, e anche a nuove specie, meglio adattate ad ambienti nuovi o in via di cambiamento rispetto a quelle parentali, grazie a nuovi tratti o nuove combinazioni di tratti». Gli antenati dell'uomo mostrano un andamento simile: la combinazione di diverse linee di discendenza ha dato luogo alla specie versatile e adattabile che siamo oggi. «*Homo sapiens* è il prodotto di complesse interazioni tra varie linee di discendenza», afferma Ackermann, e ha prosperato precisamente grazie alla ricchezza delle variazioni nate da queste interazioni. «Senza di esse – dice – non avremmo mai avuto un simile successo».

Quanto spesso sia avvenuto questo interscambio e in che misura abbia contribuito a sospingere l'evoluzione di *H. sapiens* e altri ominini resta da stabilire. Ma è possibile che le particolari circostanze ambientali e demografiche in cui si è trovata la nostra specie l'abbiano portata ad avere maggiori opportunità di scambi genetici e culturali con altri gruppi rispetto ad altri ominini. Siamo stati fortunati. Non per questo siamo meno straordinari. ■

PER APPROFONDIRE

The Hybrid Origin of «Modern» Humans. Rogers Ackermann R. e altri, in «Evolutionary Biology», Vol. 43, n. 1, pp. 1-11, marzo 2016.

Did Our Species Evolve in Subdivided Populations across Africa, and Why Does It Matter? Scerri E.M.L. e altri, in «Trends in Ecology & Evolution», pubblicato on line, 11 luglio 2018.

Ibridi umani. Hammer M.F., in «Le Scienze» n. 539, luglio 2013.

COME ABBIAMO IMPARATO A METTERE IL NOSTRO DESTINO NELLE MANI DEGLI ALTRI

L'ORIGINE DELLA MORALITÀ

di Michael Tomasello

Illustrazione di Yuko Shimizu

Michael Tomasello è professore di psicologia e neuroscienze alla Duke University e direttore emerito del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, in Germania.

Se evoluzione significa sopravvivenza del più adatto, come hanno fatto gli esseri umani a diventare creature morali? Se l'evoluzione consiste nel fatto che ogni individuo cerchi di massimizzare la propria *fitness*, come hanno fatto gli esseri umani ad arrivare al punto di ritenersi obbligati a essere onesti con gli altri e ad aiutarli? Tradizionalmente ci sono due risposte a queste domande. Innanzitutto, ha senso aiutare i parenti con i quali un individuo condivide gli stessi geni, in un processo chiamato fitness inclusiva. Inoltre, possono sorgere situazioni di reciprocità in cui due individui si scambiano un favore ed entrambi guadagnano qualcosa a lungo termine.

Ma moralità non significa solo essere gentili con i propri parenti come le api e le formiche che collaborano in atti di fitness inclusiva. E la reciprocità è un concetto rischioso, perché in qualsiasi momento un individuo può ottenere un beneficio e andarsene, lasciando l'altro nei guai. Inoltre nessuna di queste spiegazioni tocca l'essenza della moralità umana: il senso di responsabilità che gli esseri umani provano gli uni nei confronti degli altri.

Di recente è stato avanzato un nuovo approccio al problema della moralità. L'idea chiave sta nel riconoscere che gli individui che vivono in un gruppo sociale, in cui ciascuno dipende da tutti gli altri per la propria sopravvivenza e il proprio benessere, operano secondo una logica particolare che potremmo chiamare di interdipendenza, nella quale se un individuo dipende da un altro allora è nell'interesse del primo fare in modo di garantire il benessere del secondo. Più in generale, se dipendiamo gli uni dagli altri dobbiamo prenderci cura gli uni degli altri.

Come si è arrivati a questa situazione? La risposta riguarda le circostanze particolari che hanno obbligato gli esseri umani a vivere in modo sempre più collaborativo, soprattutto nella ricerca di cibo e di altre risorse di base.

Il ruolo della collaborazione

I nostri parenti viventi più vicini – scimpanzé e bonobo – vanno alla ricerca di frutta e vegetazione in piccoli gruppi, ma quando trovano le risorse ogni individuo si arrampica per ottenere cibo per conto suo. Se sorge un conflitto, è risolto attraverso il dominio: vince chi combatte meglio. In quello che tra le grandi scimmie è l'esempio più vicino a una collaborazione vera e propria per la ricerca di cibo, pochi scimpanzé maschi potrebbero circondare una scimmia più piccola e catturarla. Ma questa forma di caccia somiglia più a quella di leoni e lupi che alle forme di collaborazione degli esseri umani per la ricerca di cibo. Ogni scimpanzé cerca di massimizzare le proprie possibilità in quella situazione specifica, bloccando una delle possibili vie di fuga della scimmia. Lo scimpanzé che riesce a catturarla cerca di consumare tutta la preda da solo, ma in genere non ci riesce e allora tutti gli individui della zona convergono sulla carcassa e cercano di ottenerne almeno una parte; lo scimpanzé che ha catturato la scimmia per primo deve permetterlo oppure combattere contro gli altri e probabilmente perdere la preda nella lotta. Così alla fine un po' di cibo viene condiviso.

Gli esseri umani si comportano diversamente da molto tempo. Circa 2 milioni di anni fa emerse il genere *Homo*, caratterizzato da un cervello più grande e da nuove abilità nella fabbricazione di utensili in pietra. Poco tempo dopo, un periodo di clima più fresco e asciutto portò alla proliferazione delle scimmie terrestri, che si contendevano molte risorse con i nostri antenati.

I primi umani avevano bisogno di nuove opzioni. Una era nutrirsi delle carcasse di bestie uccise da altri animali, ma poi, come racconta l'antropologa Mary C. Stiner, dell'Università dell'Arizona, alcuni tra i primi umani (l'ipotesi migliore è che sia stato *H. heidelbergensis*, circa 400.000 anni fa) iniziarono a ottenere la maggior parte del cibo attraverso una collaborazione attiva in cui gli individui avevano obiettivi comuni e lavoravano assieme nella caccia e nella raccolta. Questa collaborazione divenne addirittura obbligata (coercitiva), in quanto era essenziale per la sopravvivenza. Gli individui diventavano interdipendenti in modi immediati e imprescindibili per ottenere il sostentamento quotidiano.

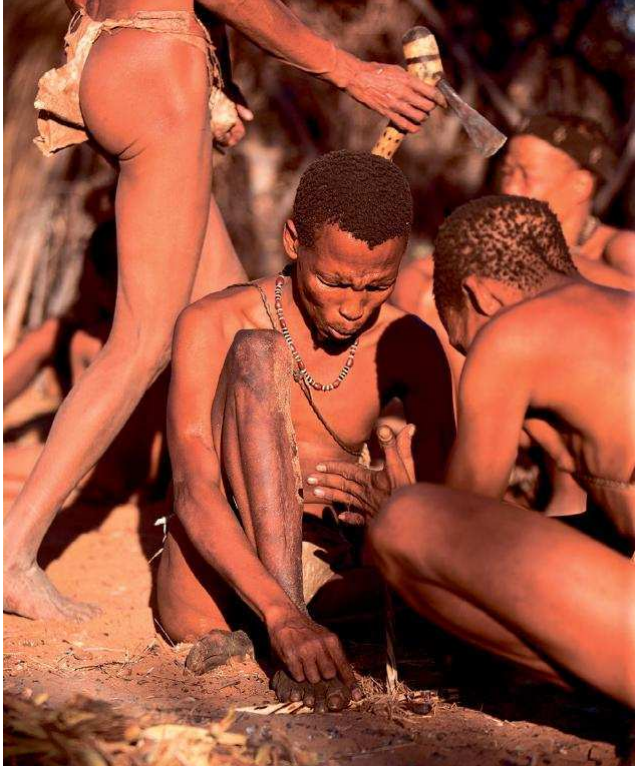
La scelta del compagno era parte essenziale della ricerca di cibo in collaborazione obbligata. Gli individui incapaci di collaborare, a livello cognitivo o altro (non erano in grado di capire gli obiettivi comuni o di comunicare con gli altri in modo efficiente), non erano scelti come compagni, e rimanevano senza cibo. Allo stesso modo, anche gli individui socialmente o moralmente poco colla-

IN BREVE

I semi di una moralità umana furono piantati circa 400.000 anni fa, quando i singoli iniziarono a collaborare per la caccia e la raccolta.

L'interazione collaborativa coltivava il rispetto e l'equità verso gli altri membri del gruppo.

In seguito, la crescita delle dimensioni dei gruppi rafforzò un senso di identità collettiva che diede origine a un insieme di pratiche culturali e norme sociali.



L'accendiamo? Collaborazione per l'accensione del fuoco tra due individui di una tribù della Namibia, in Africa meridionale.

borativi nelle interazioni con gli altri (per esempio quelli che cercavano di prendersi tutto il bottino) erano lasciati da parte, e non avevano speranze. Il risultato positivo fu che emerse una selezione sociale forte e attiva a favore degli individui competenti, motivati e bravi a collaborare con qualcun altro.

Il punto chiave nell'evoluzione della moralità è che i primi individui umani selezionati socialmente a favore della ricerca collaborativa di cibo tramite la scelta dei compagni svilupparono modi nuovi di relazionarsi con gli altri. Ancora più importante, erano fortemente motivati a cooperare, il che li spingeva sia a lavorare insieme per raggiungere obiettivi comuni sia a provare simpatia e ad aiutare i compagni già acquisiti o potenziali. Se un individuo dipendeva dal compagno per avere successo nella ricerca di cibo, dal punto di vista evolutivo aveva senso aiutarlo ogni volta che fosse necessario, per assicurarsi che fosse in forma per le prossime uscite. Inoltre la sopravvivenza del singolo dipendeva da quanto gli altri lo considerassero un compagno competente e motivato a collaborare, così i singoli iniziarono a preoccuparsi di come erano visti dagli altri. In esperimenti nel nostro laboratorio è emerso che anche i bambini piccoli si preoccupano di ciò che gli altri pensano di loro, mentre a quanto pare gli scimpanzé non lo fanno.

In assenza di un registro storico e, in molti casi, anche di prove da resti fossili e archeologici, il nostro laboratorio di Lipsia, in Germania, e altre strutture hanno studiato le origini del pensiero umano e della moralità confrontando il comportamento dei primati nostri parenti più vicini con quello di bambini piccoli che non hanno ancora assorbito le norme della loro cultura.

Da questi studi abbiamo supposto che i primi esseri umani coinvolti in operazioni collaborative per la ricerca di cibo svilupparono una nuova forma di logica cooperativa che li portava a trattare gli altri come compagni ugualmente meritevoli; in altre parole non li trattavano solo con simpatia, ma anche con un senso di equità (basato sulla comprensione dell'equivalenza tra se stessi e gli altri). I compagni capivano che, in linea teorica, potevano assumere qualsiasi ruolo nella collaborazione e che dovevano lavorare insieme per ottenere un successo comune. Inoltre, quando due individui collaboravano ripetutamente nelle uscite, sviluppavano una comprensione vicendevole, una sorta di «terreno mentale comune» che definiva il modo ideale in cui ciascuno doveva svolgere il suo ruolo per il successo condiviso.

Queste norme specifiche per ogni ruolo davano forma alle aspettative di quello che ogni compagno avrebbe dovuto fare: per esempio, nella caccia all'antilope l'inseguitore doveva fare X e il compagno con la lancia doveva fare Y. Queste norme idealizzate erano imparziali, nel senso che specificavano quello che ciascun compagno doveva fare per svolgere «bene» il suo compito in modo da raggiungere insieme il successo. I ruoli, ciascuno con norme imparziali note a entrambi per definire le prestazioni richieste, erano intercambiabili, e di conseguenza ciascun partecipante alla caccia meritava il bottino allo stesso modo, a differenza dei disonesti e degli approfittatori che non davano il loro contributo.

Quando sceglievano un compagno per uno sforzo collaborativo, i primi esseri umani volevano trovare un individuo che sarebbe stato all'altezza di un ruolo atteso e che dividesse in modo equo il bottino. Per ridurre il rischio insito nella scelta del partner, gli individui che stavano per iniziare una collaborazione potevano usare la loro nuova capacità di cooperare per prendere un impegno comune, promettendo di rispettare quello che ci si aspettava da loro nei rispettivi ruoli, compresa una divisione equa del bottino. Come parte dell'impegno, i futuri compagni potevano promettere implicitamente anche che chiunque avesse rinnegato quell'impegno si sarebbe meritato la disapprovazione del gruppo. (Il box alla pagina successiva spiega l'evoluzione della moralità nel quadro del concetto filosofico di intenzionalità.)

Chiunque deviasse da quello che ci si aspettava e volesse mantenere uno status positivo nella collaborazione si sarebbe sottoposto di buon grado a un'autocondanna, interiorizzata psicologicamente come senso di colpa. Emergeva così una moralità basata sull'idea che «il noi è più importante dell'io». Nella collaborazione, il «noi» unitario operava a un livello superiore rispetto a quello individuale ed egoistico e regolava le azioni dei partner «io» e «tu».

Il risultato degli adattamenti dei primi esseri umani a favore di uno sforzo collaborativo obbligato per la ricerca di cibo diventarono quella che si dice una moralità in seconda persona, che è definita come la tendenza a relazionarsi con gli altri con un senso di rispetto e di equità basato su una valutazione genuina di se stessi e degli altri come partner pari merito nell'impresa collaborativa. Questo senso di equità era rafforzato dal senso del dovere, cioè dalla pressione sociale a collaborare e a rispettare il compagno.

In altre parole, mentre tutti i primati sentono la pressione a perseguire i propri scopi individuali nei modi che ritengono possano avere successo, l'interdipendenza che governava la vita sociale dei primi esseri umani significava che i singoli sentivano la pressione a trattare gli altri come meritavano di essere trattati e ad aspettarsi di essere trattati dagli altri nello stesso modo. Questa moralità in seconda persona non aveva tutte le caratteristiche che definiscono la moralità umana moderna, ma ne aveva già, in forma embrionale, gli elementi più importanti: rispetto ed equità.

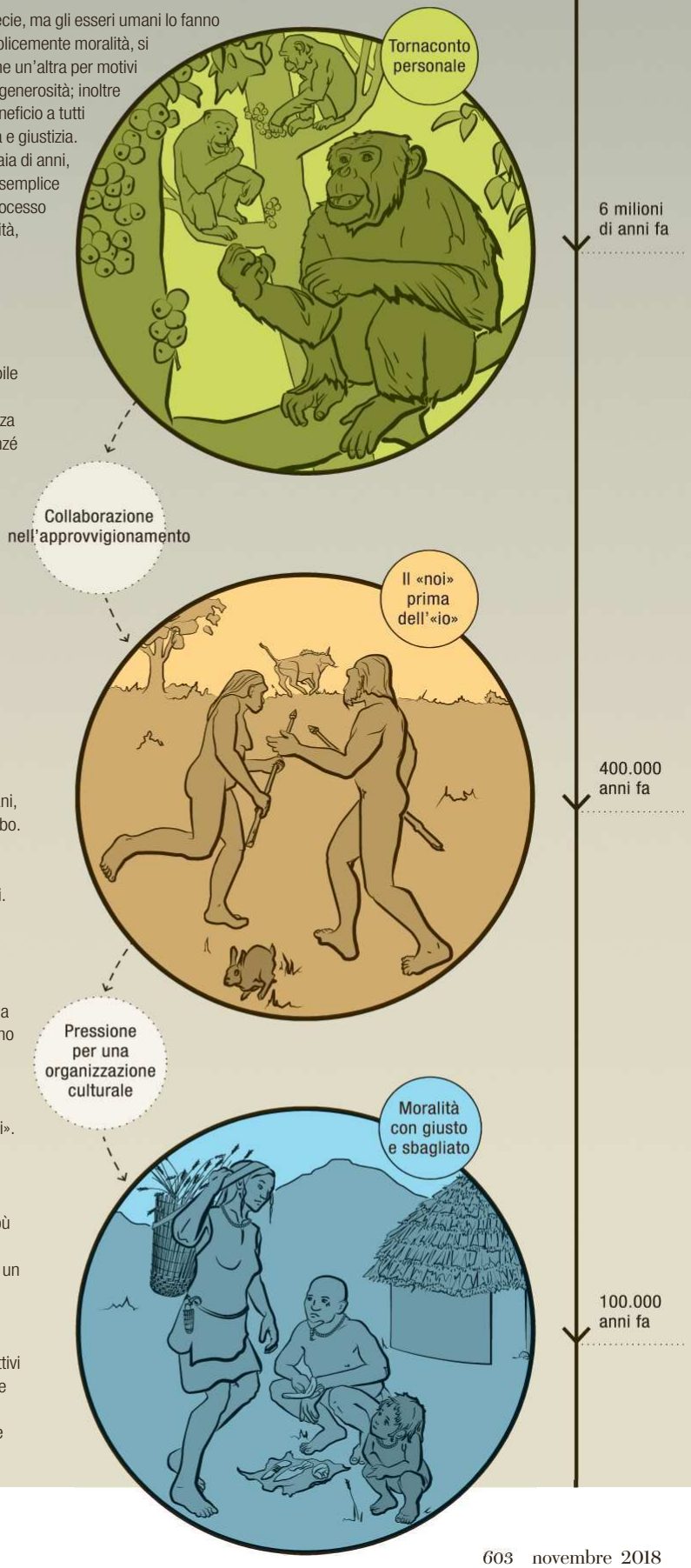
La nascita delle norme culturali

Il secondo passaggio importante nell'evoluzione della moralità umana avvenne quando la collaborazione in piccola scala per la ricerca di cibo messa in atto dai primi umani fu destabilizzata da due fattori demografici che oltre 200.000 anni fa portarono all'avvento degli esseri umani moderni. La nuova era ebbe inizio a

Hoberman/UIG

Evoluzione della moralità umana moderna

Gli animali collaborano spesso con altri individui della propria specie, ma gli esseri umani lo fanno in modo diverso. La forma umana della cooperazione, detta semplicemente moralità, si differenzia in due modi collegati tra loro. Una persona può aiutarne un'altra per motivi altruistici, spinta dalla compassione, dalla preoccupazione, dalla generosità; inoltre gli esponenti di un gruppo possono cercare mezzi che portino beneficio a tutti i membri mettendo in atto norme che promuovono onestà, equità e giustizia. Queste capacità si sono sviluppate nel corso di centinaia di migliaia di anni, via via che gli esseri umani iniziavano a collaborare tra loro per il semplice bisogno di sopravvivere. Gli aspetti cognitivi e sociali di questo processo si possono capire per mezzo del concetto filosofico di intenzionalità, cioè il modo in cui i singoli interpretano il mondo e perseguono i propri obiettivi.



Intenzionalità individuale

La capacità di modificare il comportamento in modo flessibile per raggiungere un dato obiettivo, in genere allo scopo di essere competitivo rispetto agli altri, è quello che caratterizza l'intenzionalità individuale. Il comportamento degli scimpanzé è motivato per la maggior parte da questa prospettiva di tornaconto personale, e altrettanto vale per quello degli antenati comuni di uomini e scimpanzé, e forse anche per i primi esponenti degli ominini. Un esempio di questo comportamento si ha quando gli scimpanzé vanno in cerca di frutta: diversi esemplari lavorano insieme per cercarla, ma appena ne trovano ciascuno ne fa scorta per sé e la mangia separatamente, senza interagire con gli altri esponenti del gruppo. Anche nella caccia gli scimpanzé mostrano una simile serie di comportamenti relativamente orientati al tornaconto personale.

Intenzionalità sociale

Circa 400.000 anni fa un antenato diretto degli esseri umani, *Homo heidelbergensis*, iniziò a cercare fonti di migliori di cibo. Cacciare uri e altre prede di grossa taglia, invece che lepri, richiedeva un maggior livello di cooperazione, un'intenzionalità comune, concentrata su obiettivi condivisi. Questo tipo di lavoro di squadra contrastava con la confusione del «ciascuno per sé» messo in atto dagli scimpanzé nella caccia a una scimmia. Se i cacciatori-raccoglitori del Paleolitico volevano sopravvivere, queste pratiche dovevano diventare «obbligatorie», non lasciate alla discrezione del singolo. Gli individui scelti per la caccia erano selezionati perché capivano implicitamente il bisogno di cooperare e di non provare ad accaparrarsi tutto il bottino. Emergeva così una «moralità in seconda persona», nella quale si capiva che l'«io» doveva essere subordinato al «noi».

Intenzionalità collettiva

Via via che i gruppi crescevano di dimensioni, a partire da 150.000 anni fa, le piccole bande che costituivano una tribù svilupparono un insieme di pratiche comuni che rappresentava l'inizio formale delle culture umane. Crebbe un insieme di norme, convenzioni e istituzioni per definire gli obiettivi del gruppo e stabilire una divisione del lavoro che desse ruoli stabiliti a ciascuno dei componenti; era l'intenzionalità collettiva che distingueva una tribù. Gli obiettivi erano interiorizzati da ciascun componente della tribù come una «moralità oggettiva» in cui tutti sapevano immediatamente la differenza tra giusto e sbagliato in base all'insieme di pratiche culturali del gruppo.

causa della competizione tra gruppi umani. Le lotte significavano che, per proteggersi dagli invasori esterni, le popolazioni di collaboratori strutturate in modo approssimativo dovevano diventare gruppi sociali interconnessi più strettamente. Ogni gruppo sviluppò una divisione interna del lavoro, da cui nacque un'identità collettiva di gruppo.

Allo stesso tempo stavano aumentando le dimensioni della popolazione. Via via che i numeri crescevano e i gruppi tribali si espandevano, le entità maggiori si divisero in sotto-unità più piccole che si sentivano ancora legate al gruppo superiore, o a quella che si potrebbe descrivere come una «cultura» distintiva.

Diventava essenziale trovare modi di riconoscere coloro che facevano parte del proprio gruppo culturale anche se non erano parenti stretti, e di distinguerli dagli esponenti degli altri gruppi tribali. Questo tipo di riconoscimento era importante perché si poteva contare solo sugli esponenti del proprio gruppo culturale quando si trattava di condividere capacità e valori e trovare compagni affidabili, soprattutto per difendere il gruppo. La dipendenza degli individui dal gruppo portava così a un senso di identità collettiva e di lealtà. Contemporaneamente, chi non mostrava quella stessa identità di gruppo e quella lealtà poteva essere ostracizzato o morire nelle lotte con i rivali.

Gli esseri umani attuali hanno molti modi di indicare l'identità di gruppo, ma in origine si usavano soprattutto elementi comportamentali e ci si basava su una serie di ipotesi: chi parla come me, prepara il cibo come me e più in generale condivide le mie stesse pratiche culturali è molto probabilmente un esponente del mio gruppo. Così, da queste ipotesi nacque la tendenza degli esseri umani moderni a conformarsi alle pratiche culturali di gruppo: insegnare ai propri figli a fare le cose nel modo tradizionale definito dal gruppo divenne imprescindibile per sopravvivere.

Insegnare e conformarsi furono le basi anche dell'evoluzione culturale cumulativa, in cui una pratica o un artefatto che esistono da molto tempo sono migliorati e poi quel miglioramento è passato alle generazioni successive come parte delle convenzioni, delle norme e delle istituzioni del gruppo. I singoli nascevano in queste strutture sociali collaborative e non avevano altra scelta se non quella di conformarsi. La caratteristica psicologica chiave degli individui adattati alla vita culturale era la mentalità di gruppo, in cui le persone assumevano la prospettiva cognitiva del gruppo nel suo insieme per proteggerlo e conformarsi a esso, come si capisce dagli studi comportamentali su bambini di tre anni pubblicati alla fine del primo decennio di questo secolo.

Gli individui che facevano parte di un gruppo culturale dovevano conformarsi alle pratiche culturali e alle norme sociali prevalenti per dimostrare che si identificavano nel gruppo e nel suo modo di fare le cose. Alcune norme sociali andavano oltre conformità e identità di gruppo e arrivavano a toccare simpatia ed equità (ereditate dai primi esseri umani), che diventarono norme morali. Così, mentre alcune regole codificavano il modo giusto e quello sbagliato di fare le cose nella caccia o nella produzione di utensili, le norme morali definivano il modo giusto di trattare gli altri. Dato che gli obiettivi collettivi di gruppo e l'unità culturale dei gruppi umani creavano una prospettiva «oggettiva» (cioè non «mia» ma «nostra», di tutto il popolo), la moralità umana moderna sviluppò le caratteristiche di una forma oggettiva di giusto e sbagliato.

Certo, un individuo poteva scegliere di agire contrariamente a una norma morale, ma se gli altri esponenti del gruppo chiedevano conto le sue opzioni erano limitate: poteva ignorare critiche e censura e collocarsi al di fuori delle pratiche e dei valori condivisi dalla cultura, cosa che avrebbe potuto portarlo all'esclusione dal gruppo. Gli esseri umani moderni pensavano alle norme culturali come mezzi legittimi per regolare se stessi e i propri impulsi e segnalare il senso di identità di gruppo. Se una persona si allontanava dalle norme sociali, era importante che giustificasse la mancata collaborazione di fronte agli altri in termini di valori condivisi. In questo modo, gli esseri umani moderni interiorizzavano non solo le azioni morali ma anche le giustificazioni morali, e creavano un'identità morale basata sulla ragione all'interno della comunità.

Il popolo dei noi

Nel libro *Storia naturale della morale umana* parto dall'ipotesi che la maggior parte delle spiegazioni per la psicologia morale umana derivi da processi di evoluzione basati sulla selezione naturale. Più importante, però, è il fatto che la selezione non è fatta dall'ambiente fisico ma da quello sociale. Andando contro agli approcci evolutivi che basano i loro argomenti sulla reciprocità e sul controllo della propria reputazione nella comunità, ho messo in evidenza come i primi esseri umani capissero che le norme morali li rendevano allo stesso tempo giudici e giudicati. La prima preoccupazione dell'individuo non era «che cosa gli altri penseranno di me», ma «che cosa noi, me incluso, penseremo di me». L'essenza di questa situazione è un orientamento psicologico verso l'idea che «il noi è più importante dell'io», il che dà alle nozioni di moralità quei poteri speciali di legittimità nelle decisioni personali.

Per risolvere sfide vitali per la nostra specie dobbiamo pensare all'umanità come a un «noi»

Nel mondo contemporaneo la sfida deriva dall'aver capito che gli adattamenti biologici a favore della cooperazione e della moralità sono orientati soprattutto alla vita in piccoli gruppi o comunque in gruppi internamente omogenei, dove gli esterni non appartengono alla comunità morale. Tuttavia, fin da quando emerse l'agricoltura, circa 10.000 anni fa, le società umane sono state composte da individui di diversa appartenenza politica, etnica e religiosa.

Di conseguenza diventa meno chiaro chi fa parte del «noi» e chi è all'esterno. Il potenziale di divisione che ne deriva porta sia a tensioni sociali interne alla società sia, nel caso delle nazioni, a guerre, che sono l'esempio perfetto di conflitto tra gruppi di appartenenza e di non appartenenza. Ma se vogliamo risolvere le sfide più grandi che ci aspettano come specie, quelle che minacciano allo stesso modo tutte le società umane, dobbiamo essere pronti a pensare a tutta l'umanità come a un «noi». ■

PER APPROFONDIRE

Cooperative Hunting and Meat Sharing 400-200 Kya at Qesem Cave, Israel. Stiner M.C. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 106, n. 32, pp. 13207-13212, 11 agosto 2009.

Altruisti nati. Tomasello M., Bollati Boringhieri, Torino, 2010.

Young Children Enforce Social Norms. Schmidt, M.F.H., e altri, in «Current Directions in Psychological Science», Vol. 21, n. 4, pp. 232-236, 25 luglio 2012.

Storia naturale della morale umana. Tomasello M., Raffaello Cortina Editore, Milano, 2016.

Il fattore X. Stix G., in «Le Scienze» n. 555, novembre 2014.

Illustrazione di Portia Sloan Rollings

DOPOTUTTO, LA GUERRA POTREBBE NON ESSERE NELLA NOSTRA NATURA

PERCHÉ COMBATTIAMO

di R. Brian Ferguson

Illustrazione di Yuko Shimizu

R. Brian Ferguson è professore di antropologia alla Rutgers University di Newark, negli Stati Uniti. Ha dedicato la sua carriera accademica a spiegare perché nascono le guerre.

Le persone, o forse solo quelle di sesso maschile, hanno evoluto una predisposizione a uccidere i membri di altri gruppi? Non la semplice capacità di uccidere, ma proprio una tendenza innata a impugnare le armi che ci porta verso la violenza collettiva? Qui, la parola «collettiva» è fondamentale: le persone combattono e uccidono per motivi personali, ma un omicidio non è una guerra. La guerra è sociale: ci sono gruppi che si organizzano per uccidere individui appartenenti ad altri gruppi.

Le ipotesi sulle radici storiche dei conflitti si dividono oggi su due posizioni contrapposte. In una, la guerra è una tendenza evoluta per eliminare ogni potenziale competitore. In questo scenario, gli esseri umani hanno sempre fatto la guerra, fin dall'epoca degli antenati che abbiamo in comune con gli scimpanzé. L'altra sostiene che i conflitti armati siano emersi solo negli ultimi millenni, quando i cambiamenti nelle condizioni sociali hanno offerto condizioni logistiche e motivi adatti alle uccisioni di massa. Le due fazioni si dividono in quelli che l'antropologo Keith Otterbein, oggi scomparso, ha definito falchi e colombe.

Se la guerra esprime una tendenza innata, dovremmo aspettarci di trovare prove della sua esistenza in società di piccole dimensioni in tutte le testimonianze di epoca preistorica. Secondo i falchi, queste prove esistono davvero: «Quando abbiamo un buon quadro archeologico di una qualsiasi società, ci sono quasi sempre anche attestazioni di episodi bellici [...] Attribuire il 25 per cento delle morti alle guerre potrebbe essere una stima conservativa», hanno scritto l'archeologo Steven A. LeBlanc e la sua coautrice Katherine E. Register. Gli psicologi evoluzionisti sostengono che, con numeri di vittime così alti, la guerra è stata un meccanismo di selezione naturale, in cui il più adatto ha la meglio e acquisisce così risorse e partner per accoppiarsi.

Questa prospettiva è oggi ampiamente diffusa. Il politologo Francis Fukuyama ha scritto che le radici delle guerre e dei genocidi recenti risalgono a decine o centinaia di migliaia di anni fa, ai nostri progenitori cacciatori-raccoglitori o addirittura agli antenati che abbiamo in comune con gli scimpanzé (*si veda il box a p. 76*). Secondo Bradley Thayer, eminente studioso di relazioni internazionali, la teoria dell'evoluzione spiega perché la tendenza istintiva di proteggere la propria tribù nel tempo si sia lentamente trasformata, nei rapporti internazionali, in un'inclinazione collettiva verso xenofobia ed etnocentrismo. Se le guerre sono esplosioni naturali di odio istintivo, perché cercare altre risposte? Se la natura umana propende verso le uccisioni di massa di chi non appartiene al proprio gruppo, per quanto tempo possiamo evitarlo?

Tra le colombe, antropologi e archeologi mettono in discussione questo punto di vista. La loro idea è che gli esseri umani abbiano un'ovvia capacità di impegnarsi nelle guerre, ma che nel loro cervello non sia connaturato l'istinto a identificare e uccidere gli avversari coinvolti in conflitti collettivi. Gli attacchi di gruppo letali sarebbero emersi solo quando le società di cacciatori-raccoglitori sono cresciute in dimensione e complessità e, poi, con la nascita dell'agricoltura. L'archeologia, insieme all'osservazione dei gruppi di cacciatori-raccoglitori contemporanei, permette di identificare il momento e, fino a un certo punto, le circostanze sociali che hanno portato alle origini e all'intensificazione delle attività belliche.

Quando ebbe inizio?

Nella loro indagine sulle origini della guerra, gli archeologi vanno alla ricerca di quattro tipi di prove. La prima sono le opere d'arte sulle pareti delle caverne. Le pitture rupestri delle grotte paleolitiche di Cougnac, Pech-Merle e Cosquer, in Francia, risalgono approssimativamente a 25.000 anni fa, e secondo alcuni studiosi rappresentano lance che trafiggono persone: questo suggerirebbe che le persone andavano in guerra già nel periodo del tardo Paleolitico. Questa interpretazione, però, è contestata: altri scienziati sottolineano che in questi dipinti alcune figure incomplete hanno code e le linee ondulate o curve che le attraversano non sono lance ma, più probabilmente, forze del potere sciamanico. Per contro, le pitture murali nella Penisola Iberica orientale, eseguite con ogni probabilità da agricoltori sedentari migliaia di anni dopo, mostrano chiaramente battaglie ed esecuzioni.

Anche le armi sono una prova dell'esistenza della guerra, ma questi manufatti potrebbero non essere quello che sembrano. Un

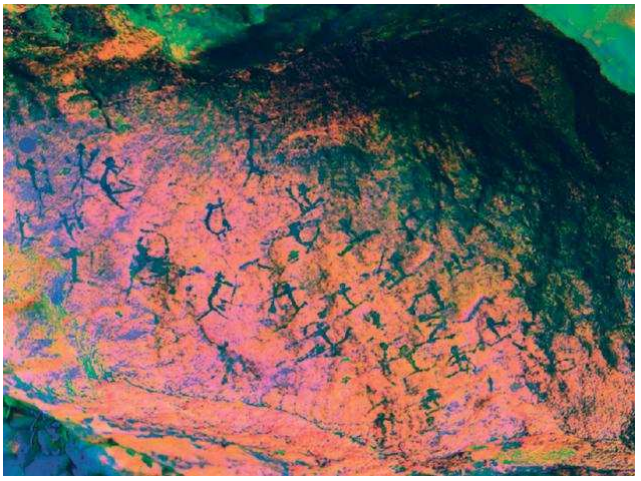
IN BREVE

La guerra è innata nella specie umana oppure è emersa in seguito a un progressivo aumento della complessità dell'organizzazione sociale?

Gli studiosi si dividono in due fazioni, che hanno vedute opposte.

Uno sguardo ravvicinato alle prove archeologiche e di altro tipo suggerisce che le uccisioni di massa siano il risultato di un clima culturale emerso negli ultimi 12.000 anni.

Tracce di guerra risalenti a oltre 5000 anni fa appaiono nella rielaborazione al computer di un'immagine di dipinti rupestri scoperti nella Penisola Iberica.



tempo accettavo che le mazze fossero una testimonianza bellica, ma era prima di saperne di più sulle mazze in pietra del Vicino Oriente: la maggior parte di esse ha fori per manici così sottili che non sopravvivrebbero al primo colpo inferto in battaglia. Le mazze sono anche un simbolo dell'autorità, e norme consolidate possono essere un modo di risolvere i conflitti senza ricorrere alla guerra. D'altronde è possibile andare in guerra *senza* armi tradizionali: nel sud della Germania, nel 5000 a.C., un gruppo di contadini fu massacrato con asce che erano anche usate per tagliare il legno.

Oltre all'arte e alle armi, gli archeologi cercano indizi tra i resti degli insediamenti. Di solito chi teme un attacco prende precauzioni. Nel registro archeologico talvolta osserviamo come persone che prima abitavano in case sparse nelle pianure si siano poi spostate in villaggi circoscritti e difendibili. Nel Neolitico, i villaggi in Europa erano circondati da strutture rialzate, anche se non tutte queste recinzioni sembrano progettate per la difesa: alcune potrebbero indicare la separazione di gruppi sociali distinti.

I resti scheletrici sembrerebbero ideali per determinare l'inizio dell'epoca delle guerre, ma anch'essi richiedono valutazioni attente. Solo una ferita da proiettile su tre o quattro lascia il segno su un osso. Le punte di pietra o di osso sepolte con i cadaveri sono a volte cerimoniali e altre volte la causa della morte. In un cadavere, le ferite non guarite potrebbero essere il risultato di un incidente, di un'esecuzione o di un omicidio. È probabile che nel mondo preistorico gli omicidi fossero piuttosto comuni, ma gli omicidi non sono una guerra. E non tutti gli scontri fisici erano letali. In alcuni luoghi di sepoltura, gli archeologi spesso trovano crani con depressioni craniche guarite, ma poche di queste sono fatali: suggeriscono lotte corpo a corpo con randelli, o altri modi non mortali di risolvere dispute personali, come succede comunemente nel registro etnografico. Quando i crani sono in prevalenza femminili, le fratture possono essere un segnale di violenze domestiche.

Le prove archeologiche globali, quindi, sono spesso ambigue e difficili da interpretare. A volte è necessario mettere insieme indizi diversi per dare vita a un sospetto o a una probabilità dell'esistenza della guerra. Lavori archeologici dedicati, come scavi multipli con un buon recupero di materiali, dovrebbero riuscire a concludere che, se non altro, la guerra non è da escludere.

Nel complesso ci sono davvero indicazioni che gli esseri umani hanno fatto la guerra nell'arco di tutta la storia della nostra specie? Se il vostro campione consiste di casi rinomati per l'alta frequenza di lesioni perimortali (quelle che si verificano subito prima o nel momento del decesso), la situazione non è rosea. È da qui che provengono cifre come il 25 per cento di morti violente ma, a causa dei mezzi di comunicazione di massa, che scelgono di divulgare solo parte delle informazioni, da questi dati derivano idee sbagliate. Qualsiasi scoperta di antiche uccisioni si merita i titoli dei giornali, ma gli articoli e i servizi giornalistici ignorano gli innumerevoli scavi che non mostrano alcun segno di violenza. Un quadro diverso emerge infatti da un'analisi completa di tutti i resoconti relativi a un'area geografica e a una finestra temporale determinate, in cui ci si interroga se esistono segni della presenza di guerre, ed eventualmente quanti. La guerra non è affatto onnipresente e non si trova nel registro archeologico fin dalla notte dei tempi: la bellicosità dell'essere umano ha avuto un inizio.

Le prime ostilità

Molti archeologi si azzardano a ipotizzare che la guerra sia emersa nel periodo Mesolitico, iniziato dopo la fine dell'ultima era glaciale (circa nel 9700 a.C.), in alcune regioni in cui i cacciatori-raccoglitori europei si insediarono e svilupparono società più complesse. Non c'è una risposta semplice. La guerra è comparsa in momenti diversi in luoghi diversi. Per mezzo secolo gli archeologi hanno pensato che le tante morti violente del sito di Jebel Sahaba, lungo il Nilo nel nord del Sudan, si siano verificate anche prima, intorno al 12.000 a.C. La competizione tra gli insediamenti di cacciatori-raccoglitori, in un'area in cui le fonti di cibo, una volta ricche, erano in declino, potrebbe aver portato a episodi di conflitto.

Insediamenti, armi e siti funerari trovati nella parte settentrionale del corso del Tigri, di poco successivi, suggeriscono che tra il 9750 e l'8750 a.C. i villaggi dei cacciatori-raccoglitori fossero in guerra tra loro. Poco lontano nel VII millennio nacquero i più antichi villaggi fortificati di cui siamo a conoscenza, e la prima conquista di un centro urbano avvenne tra il 3800 e il 3500 a.C. A quell'epoca, la guerra era ormai comune in tutta l'Anatolia, diffusasi in parte grazie ai conquistatori provenienti dal nord del bacino del Tigri. Per contro, gli archeologi non hanno trovato prove persuasive in resti umani, insediamenti o armi del Levante meridionale (dal Sinai al Libano alla Siria del sud) risalenti a prima del 3200 a.C. In Giappone, tra il 13.000 e l'800 a.C., nei gruppi di cacciatori-raccoglitori le morti violente (per qualsiasi causa) sono rare.

Con lo sviluppo della coltivazione del riso, nel 300 a.C., le morti violente cominciano a comparire in oltre un sito ogni dieci. In siti nord-americani ben conosciuti, alcune lesioni ossee molto precoci sembrano il risultato di conflitti personali, anziché collettivi: un sito in Florida, per esempio, contiene prove di uccisioni multiple risalenti al 5400 a.C. circa; in parti del Pacifico nordoccidentale lo stesso successe nel 2200 a.C., mentre nelle Grandi Pianure meridionali, prima del 500 d.C., abbiamo riscontrato solo una morte violenta.

Che cos'è successo?

Affinché le probabilità che vi siano guerre aumentino, sono necessarie alcune condizioni preliminari: un cambiamento verso un'esistenza più sedentaria, una popolazione regionale in crescita, una concentrazione di risorse preziose (come il bestiame), un aumento della complessità e delle gerarchie sociali, il commercio di beni di valore e lo stabilirsi di gruppi circoscritti e identità collet-

Da Identification of plant cells in black pigments of prehistoric spanish levantine rock art by means of a multi-analytical approach: a new method for social identity materialization using chaîne opératoire, di Esther López-Montalvo e altri, in «PLoS ONE», Vol. 1, n. 2, articolo n. e0172225 16 febbraio 2017

E i nostri cugini scimpanzé?

Quando si scava nella questione della predisposizione dell'essere umano per la guerra, spesso bisogna andare oltre la nostra specie ed esaminare le esperienze dei nostri cugini scimpanzé. Ho studiato questo argomento per molti anni, e sto finendo di scrivere un libro a esso dedicato: *Chimpanzees, «War», and History*. Ho messo il termine *war* (guerra) tra virgolette perché i conflitti tra gruppi di scimpanzé, per quanto a volte siano collettivi e mortali, sono privi delle dimensioni sociali e cognitive essenziali per la guerra umana.

La guerra richiede avversari che spesso comprendono numerosi gruppi locali unificabili sotto un'organizzazione politica che prende le forme più diverse. La guerra è promossa da sistemi di conoscenza e valori, specifici di ogni cultura, che generano significati molto sentiti per l'espressione «noi contro di loro». Questi costrutti sociali non hanno alcuna analogia tra i primati. Nonostante queste distinzioni, alcuni scienziati hanno sostenuto che gli scimpanzé mostrano una propensione innata verso l'omicidio dei non appartenenti al proprio gruppo, e aggiungono che questa sarebbe stata ereditata dall'ultimo antenato che hanno in comune con noi esseri umani: un impulso che ancora oggi, in modo subliminale, ci spingerebbe verso conflitti mortali contro chi non fa parte della nostra comunità.

Il mio lavoro mette in discussione la tesi per cui gli scimpanzé maschi hanno una tendenza innata a uccidere i membri esterni al gruppo; sostengo invece che la loro violenza può essere legata a circostanze che emergono quando le loro esistenze sono disturbate dal contatto con esseri umani. Per perorare la causa ho analizzato ogni assassinio commesso da uno scimpanzé di cui avessimo un resoconto. Da questi dati emerge una verità semplice. Un esame di una recente raccolta di uccisioni avvenute in 18 siti di ricerca sugli scimpanzé (che, nel complesso, ammontano a 426 anni di osservazioni sul campo) rivela che di 27 assassinii osservati o dedotti, che coinvolgevano adulti e adolescenti di gruppi diversi, 15 sono parte di solo due situazioni ad alto conflitto verificatesi in due siti nel 1974-1977 e nel 2002-2006, rispettivamente.

Queste due situazioni ammontano complessivamente a nove anni di osservazioni, con un tasso di uccisioni annuale per quegli anni specifici pari a 1,67; i restanti 417 anni di osservazioni hanno un tasso annuale medio pari ad appena 0,03. La domanda è se i valori anomali si spiegano meglio come un comportamento più evoluto, adattativo, oppure come risultato di un disturbo umano. Alcuni biologi evoluzionisti suggeriscono che le uccisioni possono essere spiegate come un tentativo di far diminuire il numero di maschi in gruppi rivali, ma gli stessi dati mostrano che, sottraendo le uccisioni di maschi del proprio gruppo da quelle fra gruppi diversi, la riduzione di maschi esterni è pari a un maschio ogni 47 anni, cioè meno di un individuo nell'arco della vita di uno scimpanzé. Sulla base di studi comparativi ho concluso che la «guerra» tra gli scimpanzé non è una strategia evolutiva che si è evoluta, ma una risposta indotta dalla presenza umana. Analisi caso per caso mostrano che gli scimpanzé, come specie, non sono «scimmie killer». Questa ricerca mette in discussione anche l'idea che qualsiasi tendenza dell'essere umano verso la bellicosità possa derivare da un'antica eredità genetica di un lontano antenato comune allo scimpanzé e alla nostra specie.

tive. Queste condizioni, talvolta, si combinano con cambiamenti climatici estremi. A Jebel Sahaba, per esempio, la guerra può essere stata una risposta a una crisi ecologica, quando il Nilo scavò una gola che eliminò fertili terreni paludosi e portò infine gli esseri umani ad abbandonare l'area. Più tardi, alcuni secoli dopo l'avvento dell'agricoltura, l'Europa del Neolitico (tanto per fare un esempio) dimostrò che quando le persone hanno più cose per cui lottare le loro società cominciano ad auto-organizzarsi in un modo che le rende più preparate ad affrontare la guerra.

Ci sono però limiti a ciò che l'archeologia può insegnarci: a quel punto dobbiamo cercare risposte altrove. L'etnografia – lo studio delle diverse culture sia passate sia presenti – illustra queste condizioni preliminari. Una distinzione fondamentale è tra due tipi di gruppi di cacciatori-raccoglitori: «semplici» e «complessi».

La semplice caccia e raccolta è un'attività che ha caratterizzato le società umane per la maggior parte dell'esistenza di *Homo sapiens* e risale a oltre 200.000 anni fa. In genere, i gruppi collaborano gli uni con gli altri e vivono in tribù piccole, mobili ed egualitarie che sfruttano grandi aree geografiche a bassa densità di popolazione e con pochi possedimenti privati.

I cacciatori-raccoglitori complessi, per contro, vivono in insediamenti stabili con centinaia di abitanti. Mantengono gerarchie sociali sulla base delle parentele allargate, limitano l'accesso alle risorse di cibo agli appartenenti a una stessa linea di discendenza e hanno una *leadership* politica più sviluppata. I segni di una simile complessità sociale sono apparsi per la prima volta nel Mesolitico. La comparsa di cacciatori-raccoglitori complessi a volte, ma non sempre, può segnare una transizione all'agricoltura, la base per lo sviluppo degli Stati politici. Ma, soprattutto, spesso questi gruppi portano con sé la guerra.

Le condizioni preliminari per la guerra sono però soltanto una parte della storia e, da sole, possono non essere sufficienti per prevedere le ondate di conflitti collettivi. Nel Levante meridionale, per esempio, queste precondizioni si sono verificate per migliaia di anni senza che ci siano prove di guerra. Perché?

Abbiamo capito che molte società hanno anche condizioni preliminari per la pace. Sono molti i regimi sociali che ostacolano la guerra, per esempio i legami di parentela e i matrimoni trasversali ai vari gruppi, la collaborazione per la caccia, l'agricoltura o la condivisione del cibo, leggi che danno valore alla pace e stigmatizzano gli omicidi, una flessibilità sociale che permette agli individui di spostarsi in altri gruppi e tutti i mezzi noti per la risoluzione dei conflitti. Questi meccanismi non eliminano i contrasti più aspri, ma li incanalano in modo da evitare le uccisioni o da confinarle a un numero limitato di individui.

Se le cose stanno così, perché allora le scoperte archeologiche successive, le testimonianze di antropologi ed esploratori sono così piene di guerre mortali? Nel corso dei millenni, le condizioni preliminari per la guerra sono diventate più comuni in un numero maggiore di luoghi. Una volta che si è instaurata, la guerra tende a diffondersi e i popoli violenti si sostituiscono a quelli più pacifici. In tutto il mondo si sono evoluti gli Stati, che sono capaci di militarizzare la popolazione nelle loro aree più periferiche e lungo le strade commerciali. Sconvolgimenti climatici come frequenti carestie aggravano, o talvolta generano, le condizioni che portano alla guerra, e può succedere che, quando la situazione miglio-

Scaramuccia. Analisi accurate hanno mostrato che gli scimpanzé, come specie, non sono affatto «scimmie killer».

USO/iStock

ra, la pace non si instauri di nuovo. Degna di nota è l'intensificazione del periodo caldo medievale (dal 950 al 1250 circa), e la sua rapida trasformazione nella piccola era glaciale a partire dal 1300. Durante questa fase le guerre sono aumentate nelle Americhe, nel Pacifico e altrove. Nella maggior parte del mondo la guerra era già un elemento presente da tempo, ma i conflitti sono peggiorati, con un corrispondente aumento delle vittime.

Poi è stato il turno dell'espansione europea in tutto il mondo, che ha trasformato, intensificato e a volte generato guerre indigene ovunque. Questi scontri non nascevano solo dalla dinamica tra chi conquistava e chi cercava di resistere: le popolazioni locali hanno cominciato a farsi la guerra l'una con l'altra, spinte verso nuove ostilità dai poteri coloniali e dai vantaggi che procuravano.

L'interazione tra Stati antichi e più recenti, in espansione, e i conflitti successivi avevano incoraggiato la formazione di divisioni e identità tribali caratteristiche. Le regioni sotto il controllo coloniale avevano subito cambiamenti stimolati dagli effetti a lungo raggio di commercio, malattie e spostamenti delle popolazioni: tutti fattori che hanno causato guerre. Gli Stati avevano cercato anche di alimentare i conflitti tra le popolazioni locali delle colonie, imponendo istituzioni politiche con poteri ben definiti al posto delle amorfe identità locali dall'autorità limitata, con cui spesso gli europei dovevano confrontarsi nelle loro incursioni.

Spesso gli studiosi cercano un sostegno all'idea che la volontà umana di affrontare ostilità di gruppo con esiti letali preceda la nascita dello Stato: così vanno alla ricerca di prove empiriche di attività belliche in «zone tribali», dove la guerra dei «selvaggi» sembra endemica ed è spesso considerata un'espressione della natura umana. Un esame attento della violenza tra le popolazioni locali di cui siamo a conoscenza, grazie alla documentazione storica etnografica, offre però una prospettiva alternativa.

La stora dei cacciatori-raccoglitori dell'Alaska nord-occidentale tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo dimostra l'errore che si compie proiettando l'etnografia dei popoli contemporanei sul lontano passato dell'essere umano. Un'intensa attività bellica che comprende massacri di interi villaggi persevera in dettagliati racconti della tradizione orale. Questa violenza mortale è citata come prova dell'esistenza della guerra tra i cacciatori-raccoglitori prima dell'intervento degli Stati in espansione.

L'archeologia, però, insieme alla storia regionale, fornisce una valutazione diversa. Non esiste alcun indizio della presenza della guerra nei più antichi resti archeologici delle semplici culture dei cacciatori-raccoglitori dell'Alaska. I primi segnali compaiono tra il 400 e il 700 d.C., e sono probabilmente il risultato di un contatto con migranti provenienti dall'Asia o dall'Alaska meridionale, dove la guerra era già una realtà consolidata. Si tratta però di conflitti di dimensioni - e probabilmente anche intensità - limitate.

Grazie a condizioni climatiche favorevoli, a partire dal 1200 d.C. tra questi cacciatori di balene si era sviluppata una crescente complessità sociale, con popolazioni più dense e stabili e un'espansione del commercio sulle lunghe distanze. Dopo un paio di secoli la guerra era diventata comune, finché nel XIX secolo si era trasformata in una calamità, al punto da causare il declino della popolazione della regione. Questi conflitti più tardivi sono quelli che emergono nei racconti orali tradizionali, ed erano associati all'espansione degli Stati: dai nuovi poli commerciali russi della Siberia si stava sviluppando un'enorme rete di scambi, e al di là dello Stretto di Bering tutto questo aveva reso i gruppi tribali complessi particolarmente territoriali e centralizzati.

Non fa parte della vita

Il dibattito su guerra e natura umana non è destinato a risolversi presto. L'idea che durante la preistoria una violenza intensa e con un alto numero di vittime fosse diffusa ha molti sostenitori. Ha una risonanza culturale per quanti sono sicuri che noi esseri umani, come specie, siamo naturalmente portati verso la guerra. Come direbbe mia madre, «basta guardare la storia!». Quando si considerano tutte le testimonianze, però, le colombe hanno la vittoria in mano: in generale, i ritrovamenti più antichi forniscono poche prove a sostegno della tesi che la guerra fa parte della vita.

Le persone sono fatte così: combattono, e a volte uccidono. Gli esseri umani hanno sempre avuto la capacità di fare la guerra, se le condizioni e la cultura lo richiedono. Ma queste condizioni, come le culture guerrafondaie da esse generate, sono diventate comuni solo negli ultimi 10.000 anni; in molti luoghi, anche in tempi più recenti. L'alto numero di uccisioni riportato nella storia, nell'etnografia o nell'archeologia successiva è contraddetto dai precedenti ritrovamenti archeologici di tutto il mondo. Ossa e manufatti più antichi vanno a braccetto con il titolo di un articolo del 1940 di Margaret Mead: *Warfare Is Only an Invention – Not a Biological Necessity*: la guerra è solo un'invenzione, non una necessità biologica. ■

PER APPROFONDIRE

War in the Tribal Zone: Expanding States and Indigenous Warfare. Ferguson B.R. e Whitehead N.I. (*a cura*), School of American Research Press, 1992.

Beyond War: The Human Potential for Peace. Fry D.P., Oxford University Press, 2007.

GLI ESSERI UMANI STANNO CAMBIANDO IL CORSO DELL'EVOLUZIONE

DARWIN IN CITTÀ

di Menno Schilthuizen

Illustrazione di Armando Veve

Menno Schilthuizen è *senior researcher* presso il Naturalis Biodiversity Center, nei Paesi Bassi, e professore di biologia evolutiva all'Università di Leida.

«Swiish!» esclama il mio amico Frank mentre proietta la mano a coppa verso l'alto, mancando di poco il bicchiere pieno sul tavolo. Siamo nel cortile di casa mia a Leida, nei Paesi Bassi, e Frank sta mimando il modo in cui, un paio di volte al giorno, un falco pellegrino schizza verso l'alto davanti alla finestra del suo ufficio portando un piccione appena ucciso tra gli artigli. Sta andando al suo nido, sotto il gigantesco logo illuminato che corona un edificio, da cui pochi secondi più tardi iniziano a cadere le piume della povera preda.

I falchi pellegrini sono una delle tante specie di uccelli che di recente hanno iniziato ad adottare uno stile di vita urbano. Tradizionalmente si dedicano alla caccia di volatili di medie dimensioni nei pressi di pareti rocciose, ma dato che gli esseri umani hanno riempito l'ambiente con un panorama artificiale fatto di chiese, camini e palazzi, i falchi sono stati ben felici di passare dalle scarpate ai grattacieli e dalle ghiandaie ai piccioni. In alcune zone dell'Europa e del Nord America la maggior parte dei falchi pellegrini fa il nido in città.

Le somiglianze fortuite tra l'ambiente urbano e quello naturale attirano sempre più specie di fauna e flora nelle metropoli. Gli scarafaggi della specie *Blaberus giganteus*, che in natura vivono nelle grotte, si sono già adattati alle condizioni buie e umide delle nostre case. La flora originaria delle spiagge si diffonde prontamente ai bordi delle strade che d'inverno vengono cosparse di sale. I procioni, con le agili zampette anteriori che sembrano mani, sono perfettamente in grado di manipolare i bidoni dei rifiuti che costellano il paesaggio umano. *Homo sapiens* ha stabilito estesi insediamenti su quasi tutti i continenti ed entro il 2030 saranno più di 600 le città con oltre un milione di abitanti. Nessuna altra singola specie è mai riuscita a creare nuove condizioni adatte alla vita di altre specie su una scala così globale.

E sta succedendo qualcosa di ancora più stupefacente.

La città, con il suo volto di mattoni, vetro e acciaio, il ritmo forsennato dei veicoli che le scorrono nelle vene, la luce artificiale fluorescente e gli agenti chimici che le escono dai pori, è un ambiente estremo, ma generoso. Le condizioni possono essere difficili, ma possono anche offrire molti vantaggi, tra cui tutto il cibo e le risorse accumulati dagli esseri umani. Come avviene negli ambienti estremi in natura, come i deserti, le sorgenti sulfuree e le profondità delle caverne, questa combinazione di rischi e opportunità dà una spinta all'evoluzione degli animali e delle piante che si arrischiano a viverci. Io e i miei colleghi in tutto il mondo ci stiamo accorgendo che le città sono diventate acceleratori dell'evoluzione, luoghi che costringono l'adattamento a realizzarsi in modo rapido e pervasivo.

Chiocciole metropolitane

Per osservare l'evoluzione urbana basta uscire dalla porta di casa. Il mio cortiletto è un buon esempio, anche se devo ammettere che per un biologo è una vergogna che sia in quelle condizioni (come mi ripete sempre Frank): erbacce di ogni tipo spuntano tra le vecchie mattonelle sul terreno, in un angolo c'è un cespuglio di rose abbandonato e in un altro un'ortensia in vaso. Più o meno è tutto qui, a parte le rigogliosissime piante di luppolo che si ostinano a scalare il muro che svetta sopra il cortile.

Le foglie del luppolo avvolgono uno dei miei esempi preferiti di evoluzione urbana. Le allontano dal muro con delicatezza e mostro a Frank le chiocciole che mordicchiano i rami morti degli anni scorsi. Queste chiocciole, *Cepaea nemoralis*, originarie dell'Europa e introdotte anche in tutto il Nord America, presentano sul guscio una varietà di colori e di motivi, codificati nel DNA. Le mie chiocciole hanno un guscio giallo chiaro decorato con un massimo di cinque strisce nere a spirale.

Perché giallo? La risposta è collegata all'effetto «isola di calore». Le città tendono a essere più calde della campagna che le circonda perché gli edifici e le strade assorbono il calore del Sole, e questo, assieme al calore aggiuntivo generato dalle attività di milioni di persone e dalle loro macchine, crea una bolla di aria calda. In una città piccola come Leida, l'aria del centro è in media di 2-3 gradi più calda rispetto ai dintorni, mentre in città grandi come New York o Tokyo la differenza può superare i 10 gradi. Per le chiocciole, che a volte sono obbligate a rimanere attaccate a una parete durante le settimane di siccità estiva, quel

IN BREVE

Specie tanto diverse come chiocciole, tarassachi e pesci si stanno adattando agli ambienti urbani in modi nuovi e sorprendenti.
In molti casi, l'evoluzione avviene in modo più rapido di quanto accadrebbe in una cornice naturale.
Dato che le città di tutto il mondo presentano pressioni evolutive simili, le specie che vi abitano possono diventare più simili tra loro.
Tuttavia, molte specie non saranno mai in grado di adattarsi a condizioni che sono spesso estreme, perciò hanno ancora bisogno di protezione.

Adattamenti urbani: gli esemplari di tarassaco che vivono in città stanno cambiando la forma dei propri semi in modo da farli cadere verticalmente nel terreno, che è raro e prezioso. I ragni della specie *Larinioides sclopetarius*, che di solito evitano la luce del Sole, si fanno coraggio e tessono la tela sotto i lampioni.

Marcel Van Den Bergh

calore aggiuntivo può rivelarsi fatale, e lo è ancora di più per quelle che hanno un guscio scuro, che assorbe energia. Al di fuori del perimetro cittadino è più probabile vedere chiocciole rosse o marroni.

Quando Frank e io attraversiamo il cancello e usciamo nel vicolo, incontriamo un secondo esempio di evoluzione urbana: i tarassachi che sbucano dalle fessure del marciapiede, alcuni gialli in piena fioritura, altri con il capo rivestito di semi soffici a forma di ombrello.

In condizioni normali i semi, appesi a leggeri paracadute, dovrebbero farsi trasportare dal vento fino ad atterrare e a germogliare lontano dai genitori e dai fratelli, in un sistema destinato a evitare che si facciano concorrenza. In città, però, questa strategia non ha molte possibilità di funzionare, perché il francobollo di terreno in cui si trova la pianta genitrice è spesso l'unico luogo fertile del circondario e i semi che volano lontano atterreranno con molta probabilità sull'asfalto o sul cemento. Per il tarassaco sarebbe quindi più utile avere un seme pesante che cade in verticale sul suolo ai piedi della pianta. Ed è proprio quello che ha scoperto Arathi Seshadri, della Colorado State University, nel 2012: i paracadute dei semi di tarassaco urbani sono più allungati e cadono a terra due volte più in fretta rispetto a quelli che trasportano i semi di tarassaco nei prati tradizionali.

Paradossalmente, questo adattamento è simile a quello che ha subito un parente del tarassaco, la costolina giuncolina (*Hypochaeris radicata*), in un ambiente naturale estremo. Sulle isolette al largo della costa occidentale del Canada, questa pianta ha sviluppato semi che cadono più in fretta rispetto a quelli delle piante sulla terraferma; in questo caso a guidare la modifica è stato il rischio che i semi fossero sospinti dal vento in mare aperto.

Tecniche di sopravvivenza. I piccioni non temono l'autore, ma devono imparare a nascondersi dai falchi pellegrini urbani, sempre più numerosi, che danno loro la caccia. Le chiocciole che vivono sui muri in città stanno sviluppando gusci più chiari per assorbire meno calore.

Luci forti e città grandi

Continuando la nostra escursione alla scoperta dell'evoluzione urbana, Frank e io usciamo dal vicolo e attraversiamo la strada principale per raggiungere il fiume Galgenwater (il cui nome significa «acque del patibolo»). Un gruppetto di case galleggianti si aggrappa all'argine dove un tempo sorgeva la casa in cui nacque Rembrandt. Mentre ci avviciniamo a un ponte sospeso notiamo che ci sono ragnatele ovunque, tra le sbarre della ringhiera del ponte e sulle finestre delle case galleggianti. Sono grandi, rotonde, con dimensioni che vanno da quelle di un piattino da dessert a quelle di una ruota da bicicletta, e scintillano alla luce del Sole. Dai fili pendono i cadaveri svuotati di moscerini e falene, evocando il patibolo che un tempo sorgeva in questo punto.

I ragni (della specie *Larinioides sclopetarius*) non si fanno vedere. Si tratta di una specie notturna, che durante il giorno si nasconde in fessure in cui non entra la luce, aspettando la notte per uscire sulle tele e catturare le prede. Eppure queste ragnatele si trovano proprio sotto i lampioni del ponte: il ragno, ormai inurbato, ha gettato la tradizione alle ortiche perché le luci attirano gli insetti. Negli anni novanta l'aracnologa Astrid Heiling ha determinato che i ragni urbani di questa specie nascono già con una passione per la luce artificiale, pur continuando a evitare quella del Sole.

È interessante notare che un'evoluzione di segno opposto si sta sviluppando almeno in una delle specie che i ragni predano. Per gli insetti, il richiamo di una lampadina è spesso fatale, perché si bruciano con il calore, si stancano a volare attorno alla luce quando dovrebbero nutrirsi o accoppiarsi oppure finiscono tra le mandibole di un ragno. Molti entomologi ritengono che l'attrazione verso la luce sia così fortemente innata nel cervello degli insetti che disattivarla è impossibile, anche a rischio di una carneficina.

Ma l'entomologo svizzero Florian Altermatt non ne era convinto. Decise di studiare una sorta di falena chiamata ragna dell'evonimo (*Yponomeuta cagnagella*): ne raccolse centinaia di larve nel centro illuminato di Basilea e altrettante nelle foreste buie fuori città, le allevò in laboratorio, marchiò ogni insetto con un puntino colorato per indicarne l'origine urbana o rurale e poi ne liberò più di mille in una grande gabbia buia illuminata solo da una lampadina fluorescente a un'estremità. Come da copione, gli insetti rurali tendevano ad avvicinarsi alla lampadina, mentre quelli urbani preferivano in gran parte ignorare la luce e posarsi in altre zone della gabbia. Altermatt ne concluse che gli insetti urbani sembravano aver sviluppato una resistenza alla luce artificiale.

Rapida evoluzione

La manciata di esempi di darwinismo urbano che Frank e io abbiamo trovato durante la nostra passeggiata illustra un processo che si sta realizzando ovunque negli ecosistemi urbani di tutto il pianeta. Oltre all'effetto isola di calore, alle superfici ripide e all'inquinamento luminoso, in città le specie selvatiche devono affrontare un vasto assortimento di altre sfide, di cui il rumore, l'inquinamento chimico e il traffico sono solo alcuni esempi.

I biologi che studiano l'evoluzione urbana hanno identificato molti casi di specie selvatiche che si sono adattate a questi fattori di stress. Alcuni animali sono riusciti persino a superare l'ostacolo apparentemente insormontabile del forte inquinamento tossico: Andrew Whitehead, dell'Università della California a Davis, e i suoi colleghi hanno scoperto che sulla costa orientale degli Stati Uniti alcuni pesciolini di estuario chiamati *mummichog* hanno sviluppato una tolleranza a concentrazioni di policlorobifenili fino a 8000 volte superiori a quelle che normalmente sono letali per la specie.

Ancora più importanti dei fattori fisici e chimici sono forse

Marcel Van Den Bergh (*in questa pagina e a fronte*)

Mai prima d'ora un habitat estremo era stato così diffuso in tutto il pianeta. Forse si scoprirà che queste intrepide creature che si adattano in parallelo a condizioni urbane paragonabili possono diventare più simili tra loro e raggiungere le stesse soluzioni per sopravvivere

quelli biologici. Questi nuovi abitanti della città si trovano a vivere fianco a fianco con un insieme eterogeneo di altre specie estranee, portate fin lì in modo accidentale o intenzionale: le piante ornamentali, le coltivazioni agricole e i rispettivi agenti infestanti, gli animali domestici e tutti gli insetti e le piante che trasportiamo senza saperlo sui nostri abiti e nei nostri veicoli. Tutti insieme, questi organismi formano un ecosistema di specie obbligate a convivere senza mai aver avuto l'opportunità di adattarsi le une alle altre, un miscuglio insolito che prepara il terreno per la mutua evoluzione di nuove capacità di attacco e di difesa: i parrocchetti esotici possono adattarsi all'alimentazione a base di semi nativi della città, mentre gli uccelli autoctoni possono sviluppare immunità ai parassiti estranei al loro ecosistema.

Tutte queste sfide e opportunità creano una commistione potente, in cui le specie urbane si evolvono con rapidità, con adattamenti sostanziali che spesso si realizzano nell'arco di un paio di decenni e a volte addirittura di pochi anni. I mummichog hanno sviluppato la tolleranza ai policlorobifenili in appena una dozzina di generazioni, e i modelli teorici dimostrano che è praticamente la massima velocità che l'evoluzione può raggiungere in questa specie.

Molti non credono che l'evoluzione possa davvero realizzarsi così in fretta. Dopo tutto, Darwin scrisse: «Nulla noi scorgiamo di codeste lente e progressive trasformazioni fino a che la mano del tempo abbia segnato il lungo corso delle epoche». Eppure, sotto una forte pressione da parte della selezione naturale, l'evoluzione può procedere in modo molto più veloce di quanto Darwin ritenesse possibile.

Questo è particolarmente vero per gli organismi che possono riprodursi più volte in un anno. In una meta-analisi di oltre 1600 studi pubblicata lo scorso anno sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», un gruppo di ricerca guidato da Marina Alberti, dell'Università di Washington, ha trovato un chiaro segnale a riprova del fatto che l'urbanizzazione accelera l'evoluzione, arrivando in alcuni casi anche a raddoppiarne la velocità. Secondo lo studio, una delle principali spinte che causano questa accelerazione è l'introduzione nell'ambiente di animali esotici.

Se questa evoluzione rapida in ambiente urbano avviene tutto attorno a noi, significa che va tutto bene? Significa che tutte le specie non faranno altro che adattarsi agli habitat modificati dall'uomo man mano che questi diventeranno sempre più prevalenti sulla Terra nella nostra era geologica, l'antropocene?

Purtroppo no: solo alcune specie riusciranno a colonizzare l'ambiente, sopravvivere e prosperare nelle città e per ogni storia di successo ci può essere una decina di casi di estinzione urbana, di specie che non riescono ad adattarsi e quindi scompaiono. Moltissime specie continueranno ad avere bisogno di riserve, aree protette, leggi e degli altri strumenti di tutela che permetteranno agli habitat incontaminati di sopravvivere nel mondo urbanizzato del futuro.

Allo stesso tempo, gli ecosistemi urbani che si stanno diffondendo nel mondo rappresentano anche una fase nuova ed emozionante nella storia della vita sulla Terra. Mai prima d'ora un habitat estremo era stato così diffuso in tutto il pianeta. Le città di tutto il mondo condividono una serie di caratteristiche comuni alle quali la flora e la fauna si adatteranno in modi simili. Magari i naturalisti amatoriali potranno aiutare i professionisti a seguire l'ampiezza e il ritmo di questi cambiamenti. Molte specie urbane, come i piccioni di città, il trifoglio bianco e il tarassaco, sono diffuse in tutto il pianeta, e per monitorare in modo efficiente il modo in cui stanno cambiando sarebbe utile una comunità globale di persone che partecipano a progetti di *citizen science*. (D'altra parte, l'evoluzione delle chiocciole con il guscio giallo è stata rivelata da volontari che usavano la app per smartphone SnailSnap, che ha fornito dati su oltre 12.000 esemplari di chiocciola nelle città olandesi.)

Potremmo scoprire che tutte queste intrepide specie che si adattano in parallelo a condizioni urbane paragonabili possono diventare più simili tra loro e raggiungere le stesse soluzioni per far fronte alle tante pressioni. Un'omogeneizzazione globale potrebbe essere la caratteristica che distingue davvero l'evoluzione urbana da quella «naturale», e diventare il marchio dell'influenza umana sulle altre specie. Tuttavia, si tratta di una situazione senza precedenti dal punto di vista ecologico, perciò possiamo solo provare a indovinare che cosa ci riserva il futuro. ■

PER APPROFONDIRE

Darwin Comes to Town: How the Urban Jungle Drives Evolution. Schilthuizen M., Picador, 2018.

The Influence of Human Disturbance on Wildlife Nocturnality. Gaynor K.M. e altri, in «Science», Vol. 360, 15 giugno 2018, pp. 1232-1235.

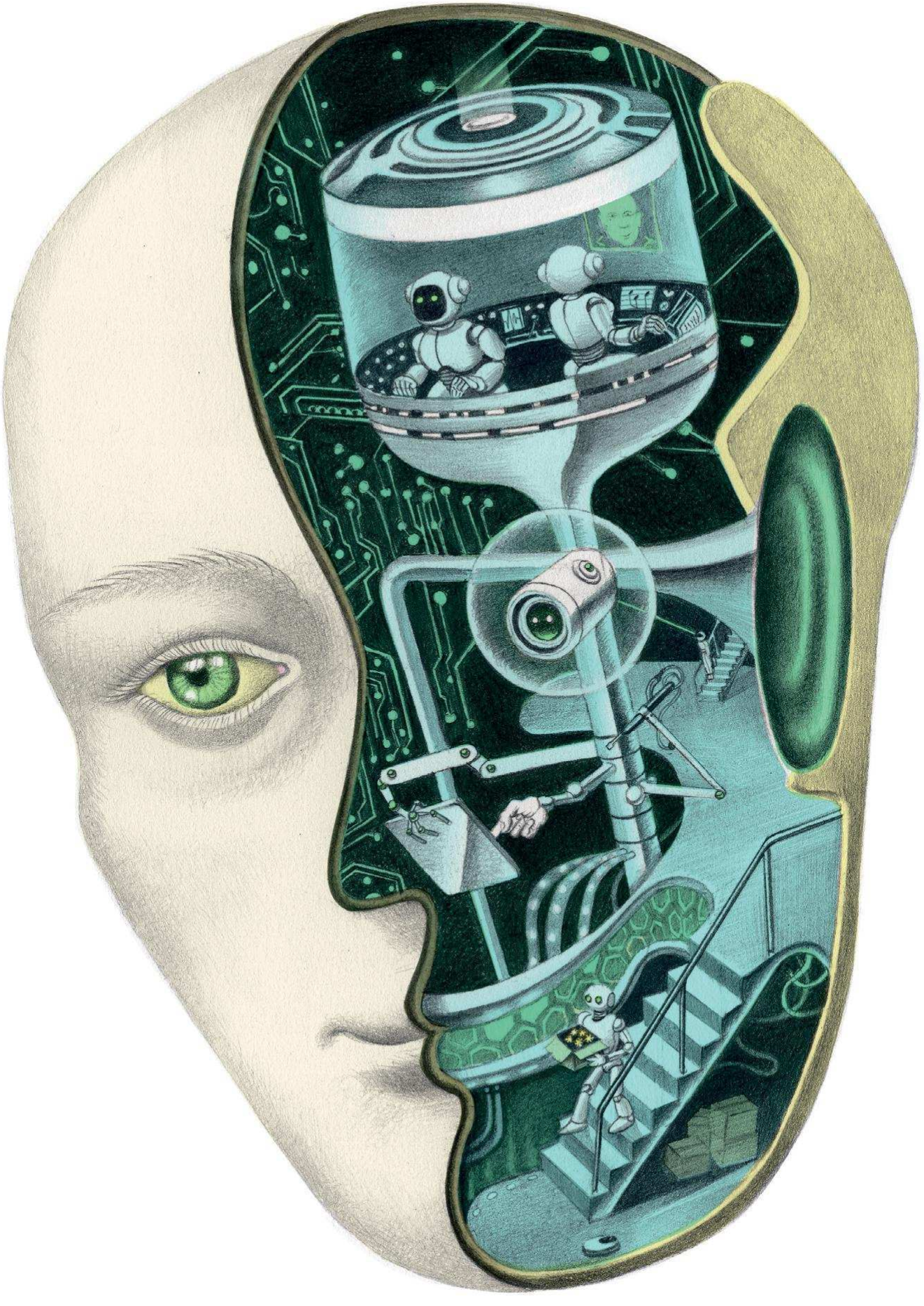
Le scimmie di città, Singh S.D., in «Le Scienze» n. 14, ottobre 1969.

L'IA SERVIRÀ LA NOSTRA SPECIE, NON LA DOMINERÀ

LE NOSTRE CONTROFIGURE DIGITALI

di Pedro Domingos

Illustrazione di Armando Veve



Pedro Domingos, docente di informatica all'Università di Washington a Seattle, è l'autore di *L'algoritmo definitivo* (Bollati Boringhieri, 2016). Fa parte dell'Association for the Advancement of Artificial Intelligence.

Noi esseri umani siamo gli unici animali in grado di costruire macchine, espandendo così le nostre capacità oltre i loro limiti biologici. Grazie agli strumenti, le nostre mani diventano appendici più versatili. Le automobili ci permettono di viaggiare più veloci e gli aerei ci mettono le ali. Grazie ai computer siamo dotati di cervello e capacità di memoria più grandi, mentre gli smartphone ci organizzano la vita quotidiana. Ora stiamo creando una tecnologia in grado di evolvere da sé, codificando al suo interno la capacità di imparare con i dati e l'impegno. Finirà col soppiantarci? O aumenterà le nostre capacità, migliorando il nostro modo di essere umani in maniere mai viste prima?

L'apprendimento automatico partì negli anni cinquanta con il lavoro di pionieri come Frank Rosenblatt, inventore di un neurone elettronico in grado di imparare a riconoscere le cifre, e Arthur Samuel, il cui programma di dama imparava giocando contro di sé finché riuscì a battere alcuni avversari umani. Ma è solo nell'ultimo decennio che il settore ha davvero preso il volo, portandoci automobili a guida autonoma, assistenti virtuali in grado di capire i nostri comandi (fino a un certo punto) e molte altre applicazioni.

Ogni anno inventiamo migliaia di nuovi algoritmi, cioè sequenze di istruzioni per dire a un computer che cosa deve fare. Ma la peculiarità dell'apprendimento automatico è che invece di programmare le macchine nei dettagli diamo loro obiettivi generali, per esempio «impara a giocare a dama». Quindi, come gli esseri umani, migliorano con l'esperienza. Tendenzialmente, questi algoritmi di apprendimento ricadono in cinque categorie principali, ciascuna ispirata a un diverso campo della scienza.

Non sorprende che una modalità di apprendimento consista nell'imitare la selezione naturale attraverso gli algoritmi evolutivi. Nel Creative Machines Lab della Columbia University, robot rudimentali cercano di strisciare o volare; periodicamente, le specifiche di quelli che ottengono i migliori risultati vengono mischiate e mutate per stampare in 3D la generazione successiva. Partendo da bot assemblati in modo casuale, a malapena in grado di muoversi, questo processo arriva a produrre creature come ragni e libellule robot dopo migliaia di generazioni, o decine di migliaia.

Ma l'evoluzione è lenta. Il *deep learning*, attualmente il paradigma di apprendimento automatico più diffuso, si ispira al cervello. Si parte da un modello matematico molto semplificato del funzionamento di un neurone, e quindi si realizza una rete di migliaia o milioni di queste unità e che impara rafforzando gradualmente i collegamenti tra i neuroni che si attivano insieme quando si guardano i dati. Queste reti neurali sono in grado di riconoscere volti e voci e di tradurre con precisione da una lingua all'altra.

L'apprendimento automatico si ispira anche alla psicologia. Come gli esseri umani, questi algoritmi basati sull'analogia risolvono problemi nuovi trovandone di simili nella memoria. È questa capacità che permette l'automazione dell'assistenza ai clienti e i siti di *e-commerce* che consigliano i prodotti in base ai vostri gusti.

Le macchine possono imparare anche automatizzando il metodo scientifico. Per indurre una nuova ipotesi, i cosiddetti simbolisti invertono il processo della deduzione: se so che Socrate è umano, che cosa devo sapere ancora per dedurre che è mortale? Basterebbe sapere che gli esseri umani sono mortali, e perciò questa ipotesi si può verificare controllando se nei dati ci sono altri umani a loro volta mortali. Eve, un robot biologo dell'Università di Manchester, ha usato questo metodo per scoprire un potenziale nuovo farmaco antimalarico. Partendo dai dati sulla malattia e da una conoscenza di base della biologia molecolare, Eve ha formulato ipotesi su quali molecole farmacologiche potrebbero funzionare, ha progettato esperimenti per testarle, li ha eseguiti in un laboratorio robotico, ha corretto o scartato le ipotesi e ha ripetuto il processo fino a ottenere risultati soddisfacenti.

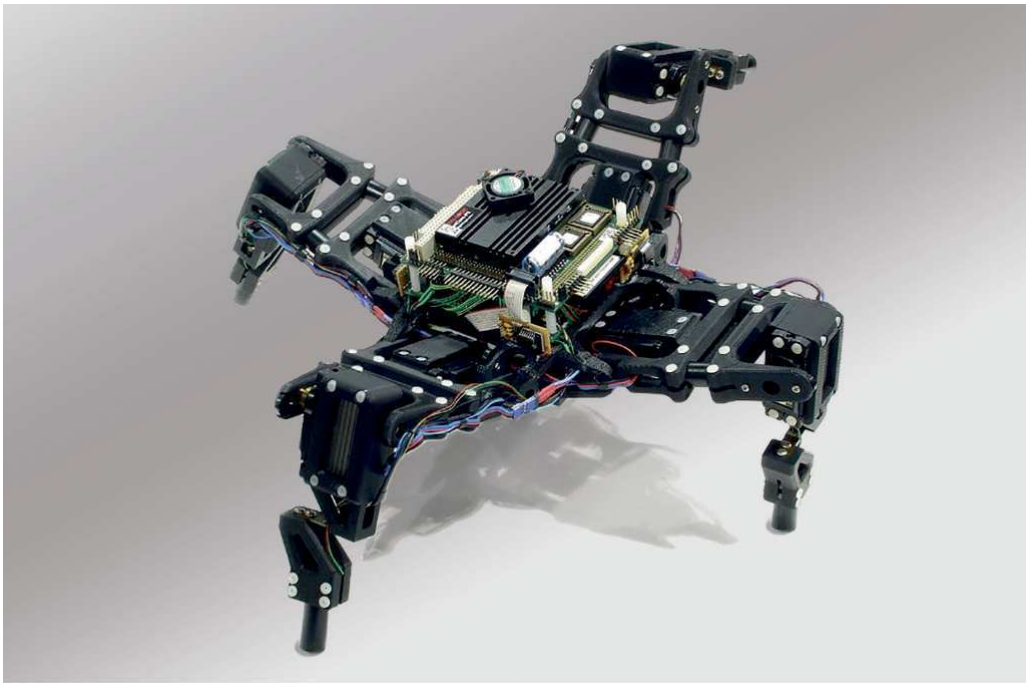
Infine, l'apprendimento si può basare su principi puramente matematici, il più importante dei quali è il teorema di Bayes.

IN BREVE

La ricerca dell'intelligenza artificiale può essere vista come parte dell'evoluzione umana. La prossima fase richiederà di creare un cosiddetto algoritmo definitivo, che riunirebbe in un solo paradigma le cinque modalità principali su cui oggi si basa l'apprendimento automatico.

La tecnologia non è altro che un'estensione delle capacità umane. Le macchine non hanno il libero arbitrio, ma solo gli obiettivi che ricevono da noi. A preoccuparci non dovrebbe essere una rivolta dei robot, bensì l'abuso di questa tecnologia da parte delle persone.

Uno scenario più plausibile nel prossimo futuro dell'IA è la proliferazione di «controfigure digitali»: nostri modelli virtuali che interagiranno tra loro in innumerevoli simulazioni per aiutarci a prendere decisioni più rapide e informate nella vita quotidiana.



Smart bot.
Questa «stella marina» usa algoritmi evolutivi per imparare a simulare se stessa. Questi algoritmi sono un tipo di apprendimento automatico che si potrebbe unire con gli altri in un «algoritmo definitivo», uno strumento umano particolarmente potente.

Secondo quest'ultimo, in base alle nostre conoscenze dovremmo assegnare alle ipotesi una probabilità iniziale, che aumenterà o diminuirà in base alla coerenza delle ipotesi con i dati. Poi si elaborano previsioni facendo votare tutte le ipotesi, attribuendo un maggiore peso al voto delle più probabili. Le macchine ad apprendimento bayesiano sono in grado di formulare alcune diagnosi con più precisione dei medici umani. E sono alla base di molti filtri antispam e del sistema usato da Google per scegliere quali pubblicità farvi vedere.

Ciascuno di questi cinque metodi di apprendimento automatico ha i suoi pro e contro. Il *deep learning*, per esempio, funziona bene per i problemi percettivi, come la visione e il riconoscimento vocale, ma non per quelli cognitivi, come l'acquisizione di conoscenze semplici e il ragionamento. Per l'apprendimento simbolico vale il contrario. Gli algoritmi evolutivi sono in grado di risolvere problemi più difficili rispetto alle reti neurali, ma possono impiegare tempi molto lunghi. I metodi analogici possono imparare da pochi esempi, ma rischiano di confondersi quando ricevono troppe informazioni su ciascuno di loro. L'apprendimento bayesiano è utilissimo per affrontare piccole quantità di dati, ma con i *big data* può avere costi proibitivi.

I fastidiosi compromessi che ne conseguono hanno spinto gli esperti di apprendimento automatico a lavorare per unificare i vantaggi di tutti i paradigmi. Il nostro obiettivo è creare un cosiddetto algoritmo definitivo, una sorta di passepartout che apre tutte le serrature, in grado di imparare tutto ciò che si possa estrarre dai dati e di ricavarne tutte le conoscenze possibili.

La sfida cui ora ci troviamo di fronte è simile a quella che affrontano i fisici: la meccanica quantistica descrive efficacemente l'universo su piccolissima scala, e la relatività generale invece su grandissima scala, ma le due sono incompatibili, e bisogna trovare un modo di conciliarle. E così come James Clerk Maxwell per primo unificò la luce, l'elettricità e il magnetismo prima che si potesse sviluppare il modello standard della fisica delle particelle, vari gruppi di ricerca, tra cui il mio all'Università di Washington a Seattle, hanno proposto dei metodi per unificare due o più paradigmi di apprendimento automatico. Poiché il progresso scientifico non è lineare, è difficile prevedere quando si potrebbe concludere l'unificazione dei paradigmi in un algoritmo definitivo. In ogni caso, toccare questo traguardo non darà il via a una nuova razza di macchine dominanti. Anzi, farà accelerare il progresso umano.

La rivolta delle macchine?

Dopo aver raggiunto l'algoritmo definitivo e averlo alimentato con le enormi quantità di dati prodotti da tutti noi, i sistemi di intelligenza artificiale saranno potenzialmente in grado di imparare modelli molto precisi e dettagliati di singole persone: i nostri gusti e abitudini, punti di forza e debolezze, ricordi e aspirazioni, credenze e personalità, chi e che cosa ci interessa, e come reagiremo in una certa situazione.

L'idea che modelli di noi stessi possano essenzialmente prevedere le nostre scelte è al tempo stesso entusiasmante e spaventosa. Molti temono che macchine dotate di queste capacità useranno le loro nuove conoscenze per rubarci il lavoro, schiavizzarci o perfino sterminarci. Ma è improbabile che succeda, visto che non hanno volontà propria. In sostanza, tutti gli algoritmi di IA sono guidati da obiettivi programmati da noi, come «trova il percorso più breve dall'hotel all'aeroporto». A distinguere questi algoritmi da quelli ordinari è la loro notevole flessibilità nell'immaginare come raggiungere gli obiettivi che abbiamo impostato per loro, senza avere bisogno di eseguire una serie di azioni predefinite.

Anche man mano che con l'esperienza diventano sempre più bravi nel loro compito, gli obiettivi non cambiano e le soluzioni che non determinano un progresso verso l'obiettivo sono scartate automaticamente. Inoltre gli esseri umani hanno la possibilità di controllare se ciò che producono le macchine è davvero utile per i nostri obiettivi. E siamo in grado di verificare che le macchine non violino le limitazioni ricevute da noi, per esempio «rispetta il codice della strada».

Quando immaginiamo un'IA, però, tendiamo a proiettare su di essa qualità umane, come volontà e coscienza. Inoltre la maggior parte di noi ha più familiarità con le IA umanoidi, come i robot

Victor Zykov e Josh Bongard

domestici, che con i numerosissimi altri tipi che fanno il proprio lavoro dietro le quinte. Hollywood consolida questa percezione rappresentando i robot e le IA come esseri umani sotto mentite spoglie: è una tattica comprensibile, che rende una storia più avvincente. L'intelligenza artificiale non è altro che la capacità di risolvere problemi difficili, e questo compito non richiede il libero arbitrio. La probabilità che questa intelligenza si rivolti contro di voi è come quella che la vostra mano vi prenda a schiaffi. Come tutte le altre tecnologie, le IA saranno sempre delle nostre estensioni. Più riusciamo a renderle potenti, meglio è.

Allora come potrebbe essere il nostro futuro con l'IA? È vero che le macchine intelligenti ci sostituiranno in molti lavori, ma probabilmente gli effetti sulla società saranno simili a quelli di forme precedenti di automazione. Duecento anni fa gli statunitensi erano per la maggior parte contadini. Ormai le macchine li hanno sostituiti quasi tutti, eppure non hanno provocato una disoccupazione di massa. I profeti di sventura sostengono che stavolta è diverso, perché le macchine stanno sostituendo il nostro cervello, non solo la nostra forza fisica, e non lasceranno niente da fare agli esseri umani. Ma il giorno in cui le IA potranno eseguire tutti i nostri stessi compiti è ancora molto lontano, ammesso che possa mai arrivare. Per il prossimo futuro, le IA e le persone avranno competenze diverse. L'effetto principale dell'apprendimento automatico consisterà nel ridurre fortemente il costo dell'intelligenza. Questa democratizzazione aumenterà la varietà degli usi economicamente fattibili di quell'intelligenza, generando nuovi posti di lavoro e trasformando quelli vecchi, per ottenere di più con la stessa quantità di forza lavoro umana.

Il problema principale dell'IA potrebbe essere il suo abuso da parte degli esseri umani

E poi c'è lo scenario della «singolarità», reso famoso dal futurologo Ray Kurzweil, che si basa su un progresso tecnologico in continua accelerazione: le macchine imparano a costruire altre macchine migliori, che a loro volta ne producono di ancora migliori, e così via. Ma sappiamo che è impossibile, perché le leggi della fisica pongono limiti rigorosi alla potenza dei computer, persino di quelli quantistici, e per certi aspetti non ci manca molto per raggiungerli. Il progresso dell'IA, come quello di qualsiasi altra cosa, finirà per stabilizzarsi.

Un'altra visione diffusa tra i futurologi è che i nostri modelli computerizzati diventeranno così efficaci da essere pressoché indistinguibili dall'originale. In questo scenario potremmo caricarci nella *cloud* e vivere in eterno sotto forma di software, liberi dai fastidiosi vincoli del mondo fisico. Un problema di questa ipotesi è che potrebbe non essere fattibile dal punto di vista biologico. Per eseguire il vostro *upload* vi servirebbe presumibilmente un modello preciso di tutti i vostri neuroni, compresi i ricordi che conservano. La riproduzione dovrebbe essere così fedele da permettere alle previsioni del modello di non discostarsi subito dal comportamento dei neuroni veri: un requisito davvero notevole.

Ma anche se fosse un'opzione realistica, fareste davvero un upload di voi stessi? Come fareste a essere sicuri che al vostro modello non mancherebbe qualche vostra parte essenziale, o addirittura che avrebbe una coscienza? E se un ladro vi rubasse l'identità, nel senso più assoluto e completo del termine? Credo che la gente sceglierà di tenersi il proprio sé molliccio di carbonio – il *wetware*, come lo chiamano scherzosamente gli informatici – il più a lungo possibile, per poi dire basta.

Cherchez l'humain

L'IA – in particolare l'apprendimento automatico – è davvero solo il proseguimento dell'evoluzione umana. Nel suo libro *Il fenotipo esteso,* Richard Dawkins illustra quanto sia normale, per i geni degli animali, controllare l'ambiente al di là del proprio corpo, citando esempi che vanno dalle uova dei cuculi alle dighe dei castori. La tecnologia è il fenotipo esteso degli esseri umani, e ciò che stiamo costruendo adesso è un altro strato del nostro esoscheletro tecnologico. Io credo che lo scenario più probabile dell'uso dell'intelligenza artificiale da parte degli esseri umani sia più affascinante delle ipotesi correnti.

Entro un decennio probabilmente ciascuno di noi avrà una «controfigura digitale», un partner di IA che sarà ancora più indispensabile di quanto lo siano oggi gli smartphone. La vostra controfigura digitale non avrà bisogno di muoversi fisicamente insieme a voi: con ogni probabilità vivrà da qualche parte nella *cloud*, proprio come fa già gran parte dei vostri dati. Ne vediamo i primordi negli assistenti virtuali come Siri, Alexa e Google Assistant.

Il cuore della vostra controfigura digitale sarà un modello di voi stessi basato su tutti i dati che avete generato nelle vostre interazioni nel mondo digitale, dai computer desktop ai siti web, dai dispositivi indossabili ai sensori ambientali come altoparlanti intelligenti, termostati, ripetitori per cellulari e videocamere.

Più progressi fanno i nostri algoritmi di apprendimento e più dati personali forniamo loro, più precise diventeranno le nostre controfigure digitali. Quando avremo l'algoritmo definitivo e lo abbineremo al rilevamento costante del vostro flusso senso-motorio attraverso il visore per la realtà aumentata e altri sensori personali, la vostra controfigura arriverà a conoscervi meglio del vostro migliore amico.

Il modello e i dati saranno gestiti da una «banca dati», non molto diversa da una banca tradizionale che deposita e investe i vostri soldi. Sicuramente molte aziende esistenti sarebbero liete di offrirvi questo servizio. Secondo il suo cofondatore Sergey Brin, Google vuole essere «il vostro terzo emisfero cerebrale», ma probabilmente non vorreste che parte del vostro cervello basasse la sua esistenza sulla pubblicità da farvi vedere. Potrebbe esservi più utile un'azienda di tipo nuovo, con meno conflitti di interesse, o un'unione di dati creata da voi con persone dalla mentalità simile.

In effetti, la preoccupazione principale non è che l'IA possa diventare spontaneamente malvagia, ma che possano farne un cattivo uso gli esseri umani che la controllano (*cherchez l'humain,* si potrebbe dire in francese). Così il primo dovere della vostra banca dati sarà fare in modo che il vostro modello non sia mai usato contro i vostri interessi. Sia voi sia la banca dati dovrete tenere alta la guardia contro il crimine dell'IA, dato che questa tecnologia darà più potere a tutti, compresi i malintenzionati. Per catturare i criminali dell'IA avremo bisogno di una polizia dell'IA (la polizia di Turing, come la chiamò William Gibson nel suo libro del 1984 *Neuromante*).

Se avete la disgrazia di vivere in un regime autoritario, que-

I dati raccolti attraverso i dispositivi di realtà aumentata e gli altri sensori personali contribuiranno a costruire il modello di voi stessi al cuore della controfigura digitale che vi sostituirà in ogni tipo di interazione virtuale.

sto scenario potrebbe aprire la strada a pericoli senza precedenti, perché permetterà al governo di sorvegliarvi e reprimervi più che mai. Data la velocità dei progressi dell'apprendimento automatico e i sistemi di polizia predittiva già in uso, lo scenario di *Minority Report* – in cui le persone vengono arrestate preventivamente quando stanno per commettere un crimine – non sembra più tanto campato in aria. Poi ci sono le implicazioni della disuguaglianza, man mano che il mondo si adatta alla velocità della vita con le controfigure digitali prima che tutti riescano ad averne una.

Il nostro primo dovere di persone sarà non abbassare la guardia e non fidarci troppo delle nostre controfigure digitali. È facile dimenticare che le IA sono come *savant* autistici e resteranno tali nel prossimo futuro. Dall'esterno possono sembrare molto obiettive, addirittura perfette, ma internamente sono difettose quanto noi se non di più, anche se in modo diverso. Per esempio, alle intelligenze artificiali manca il buon senso e presentano il serio rischio di commettere errori che un essere umano non farebbe mai, come confondere una persona che attraversa la strada con un sacchetto di plastica portato dal vento. Inoltre tendono a prendere troppo alla lettera le nostre istruzioni, dandoci esattamente quello che abbiamo chiesto, invece di ciò che volevamo davvero. (Quindi pensateci bene prima di dire alla vostra auto a guida autonoma di portarvi all'aeroporto in tempo, a qualsiasi costo.)

In pratica, la vostra controfigura digitale sarà abbastanza simile a voi da sostituirvi in ogni tipo di interazione virtuale. Il suo ruolo non sarà di sostituirvi nel vivere la vostra vita, ma piuttosto di prendere tutte quelle decisioni per le quali non avete il tempo, la pazienza o la competenza. Leggerà tutti i libri di Amazon e vi consiglierà i pochi che probabilmente avrete davvero voglia di leggere. Se avete bisogno di un'auto, ricercherà tra le opzioni e tratterà con i bot del concessionario. Se state cercando lavoro, si presenterà per tutti gli impieghi adatti alle vostre esigenze e quindi vi programmerà colloqui dal vivo per quelli più promettenti. Se vi viene diagnosticato un cancro, proverà tutte le potenziali terapie e consiglierà le più efficaci. (Inoltre avrete il dovere etico di usare la vostra controfigura digitale per il bene comune, facendola partecipare alla ricerca medica.) E se state cercando un partner sentimentale la vostra controfigura andrà a milioni di appuntamenti virtuali con tutte le controfigure idonee. Quindi le coppie che funzionano nel cyberspazio potranno darsi appuntamento nella realtà.

Sostanzialmente, la vostra controfigura vivrà nel cyberspazio innumerevoli vite probabili, in modo che quell'unica da voi vissuta nel mondo fisico abbia buone probabilità di essere la versione migliore. E questo fa sorgere interessanti domande filosofiche, per esempio se le vostre vite simulate siano in un certo senso «reali» e se il vostro sé cibernetico abbia qualche tipo di coscienza (come si è visto per esempio in alcuni episodi di *Black Mirror*).

Secondo le preoccupazioni di alcuni, questo significa che stiamo cedendo ai computer il controllo della nostra vita. Ma così in realtà avremo più controllo, non meno, perché in questo modo potremo prendere decisioni che prima ci erano precluse. E poi il vostro modello imparerà dai risultati di ciascuna esperienza virtuale (Ti è piaciuto l'appuntamento? Ti piace il nuovo lavoro?), per cui col tempo diventerà sempre più bravo a consigliare ciò che sceglieresti voi stessi.

A dire il vero, siamo già abituati a un processo decisionale che avviene in gran parte senza che interveniamo a livello conscio: è ciò che adesso fa il nostro cervello. La vostra controfigura digitale sarà come un subconscio molto allargato, con una differenza importante: mentre il vostro subconscio vive da solo dentro di voi, la controfigura digitale continuerà a interagire con quelle di altre persone e organizzazioni. Le controfigure di tutti continueranno a cercare di creare modelli l'una dell'altra, e formeranno una società di modelli che vivranno alla velocità del computer, estendendosi in tutte le direzioni e chiedendosi che cosa faremmo noi se ci fossimo. Le nostre macchine saranno i nostri esploratori, e apriranno la pista nel futuro per noi, come individui e come specie. Dove ci guideranno? E dove sceglieremo di andare? ■

PER APPROFONDIRE

L'algoritmo definitivo: la macchina che impara da sola e il futuro del nostro mondo. Domingos P., Bollati Boringhieri, 2016.

The Digital Mind: How Science Is Redefining Humanity. Oliveira A., MIT Press, 2017.

Robot autodidatti. Kwon D., in «Le Scienze» n. 598, giugno 2018.

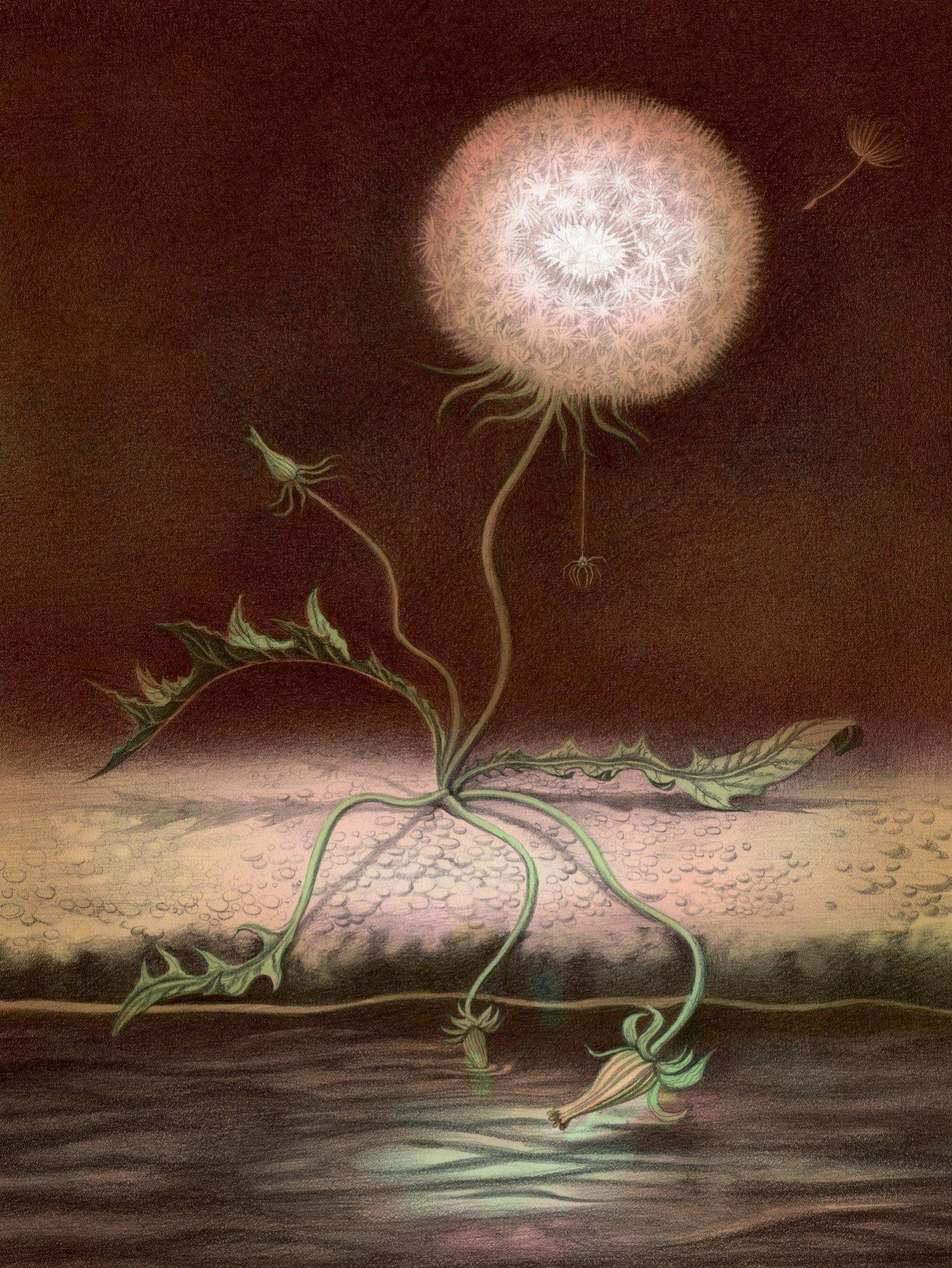
Monsitj/iStock

PERCHÉ PROBABILMENTE SIAMO L'UNICA VITA INTELLIGENTE DELLA GALASSIA

SOLI NELLA VIA LATTEA

di John Gribbin

Illustrazione di Armando Veve



John Gribbin è divulgatore scientifico, astrofisico e *visiting professor* di astronomia all'Università del Sussex, nel Regno Unito. È autore di *Alone in the Universe* (Wiley, 2011).

Gli astronomi hanno ormai scoperto migliaia di pianeti in orbita attorno ad altre stelle della Via Lattea, ed è presumibile che altri 100 miliardi di stelle della galassia abbiano pianeti. Dato l'enorme numero di mondi nell'universo, non è difficile sperare che alcuni di loro possano ospitare esseri intelligenti. Dopo tutto, come è possibile che la Terra sia unica tra così tanti pianeti?

E invece sì, è possibile. La prospettiva ottimista circa le possibilità di forme di vita intelligenti extraterrestri ignora ciò che sappiamo sul modo in cui si sono formati gli esseri umani. Siamo qui come risultato di una lunga catena di coincidenze poco plausibili: molte, moltissime cose sono dovute andare in un certo modo per avere come risultato la situazione in cui ci troviamo. Questa catena è anzi così inverosimile che ci sono buone ragioni per ritenere che gli esseri umani siano molto probabilmente l'unica civiltà tecnologica nella galassia. (Ora non pensiamo alle altre innumerevoli galassie nel cosmo perché, come si suol dire, «in un universo infinito, tutto è possibile»).

Un tempismo speciale

Le coincidenze iniziano con la produzione degli elementi pesanti, che comprendono tutto ciò che è più pesante dell'idrogeno e dell'elio. Le prime stelle nacquero in nubi di questi due elementi, i più leggeri, residuo del big bang, più di 13 miliardi di anni fa. Non è possibile che avessero pianeti, perché non c'era niente con cui formarli: non c'erano il carbonio, l'ossigeno, il silicio, il ferro né nessun altro metallo (con sovrano disprezzo per le sottigliezze chimiche, gli astronomi chiamano «metalli» tutti gli elementi più pesanti dell'idrogeno e dell'elio).

I metalli si formano all'interno delle stelle e si diffondono nello spazio quando le stelle, morendo, espellono il loro materiale, a volte esplodendo spettacolarmente in forma di supernove. Questo materiale arricchisce le nubi interstellari, e così ogni successiva generazione di stelle formate da queste nuvole avrà una metallicità maggiore di quella precedente. Quando nacque il Sole, circa 4,5 miliardi di anni fa, nella nostra zona della galassia questo arricchimento si stava svolgendo già da miliardi di anni; ma, ciò nonostante, il Sole contiene circa il 71 per cento di idrogeno, il 27 per cento di elio e appena il 2 per cento di metalli. La sua composizione rispecchia quella della nube che formò il sistema solare, e quindi i pianeti rocciosi – fra cui la Terra – si formarono a partire solo da quella minuscola quantità di materiali. Le stelle più vecchie del Sole hanno una percentuale ancora inferiore di metalli e, di conseguenza, una possibilità minore di dare origine a pianeti rocciosi analoghi alla Terra (i pianeti gassosi giganti, come Giove, sono più facili da formare ma hanno una probabilità minore da ospitare la vita). Quindi, anche se non fossimo l'unica civiltà tecnologica della galassia, dobbiamo essere una delle prime.

Una posizione speciale

Anche il nostro posto nella Via Lattea è propizio. Il Sole si trova in un sottile disco di stelle del diametro di circa 100.000 anni luce e dista all'incirca 27.000 anni luce dal centro della galassia: poco più che a metà strada. In generale, le stelle più vicine al centro contengono più metalli, e ci sono anche più stelle vecchie. Questa situazione è tipica delle galassie a disco, che sembrano cresciute dal centro verso l'esterno.

Avere una maggiore quantità di metalli sembra positivo dal punto di vista della creazione di pianeti rocciosi, ma forse non è altrettanto positivo per la vita. Un motivo della maggior metallicità è che le stelle sono più fitte verso il centro, e quindi ci sono molte supernove, che producono radiazioni ricche di energia – raggi X e particelle cariche dette raggi cosmici – che sono dannose per i pianeti delle stelle vicine. Il centro galattico ospita anche un buco nero molto grande, Sagittarius A*, che produce occasionalmente intense esplosioni di radiazioni.

C'è inoltre il problema degli eventi ancora più energetici, i lampi di raggi gamma. Usando recenti studi con le onde gravitazionali, gli astronomi hanno imparato che alcune di queste esplosioni

IN BREVE

Con tanti esopianeti in giro nella galassia, sembra ragionevole sperare che la vita sia abbondante. Ma per dare origine alla nostra civiltà intelligente si è verificata una serie di coincidenze insolite, ed è piuttosto inverosimile che una simile combinazioni di eventi fortuiti e fortunati abbia avuto luogo altrove.
I tempi della nascita del sistema solare rispetto alla storia della galassia, per esempio, sono stati fortunati, così come la nostra posizione nella Via Lattea. Inoltre varie caratteristiche del nostro pianeta sono molto rare, e le condizioni che hanno innescato l'evoluzione della vita qui da noi potrebbero essere irriproducibili.
Forse la più improbabile di tutte è stato lo sviluppo della nostra specie tecnologica a partire da quelle prime scintille di vita: un evento probabilmente unico.

Una catena di coincidenze improbabili

Per consentire la nostra esistenza molte cose dovevano andare nel modo giusto. Sono state la serendipity nell'età e nella posizione della nostra stella e del nostro pianeta, nonché le fortunate condizioni della Terra e alcuni sviluppi fortuiti nell'evoluzione della vita, a produrre gli esseri umani.

Tempi

Se il Sole e la Terra si fossero formati in un momento precedente della storia della galassia, il nostro pianeta probabilmente avrebbe avuto troppo pochi metalli (elementi più pesanti dell'idrogeno o dell'elio) per dare origine alla vita. Questi elementi si formano quando muoiono le stelle, e ci sono voluti miliardi di anni perché nascessero e morissero abbastanza stelle per arricchire i materiali che hanno costruito il nostro sistema solare.

Posizione

Il Sole si trova in una zona ideale all'interno della Via Lattea: non troppo vicino al centro galattico, dove le stelle sono più affollate e sono comuni eventi pericolosi come supernove e lampi di raggi gamma, e non troppo lontano, dove le stelle sono troppo rare perché si formino abbastanza metalli per costituire pianeti rocciosi.

Condizioni planetarie

All'interno del sistema solare, la Terra è nella posizione giusta per avere temperature ospitali e acqua liquida (è cioè nella «zona abitabile»). La Terra è anche fortunata ad avere un campo magnetico, che respinge le radiazioni nocive, e la tettonica delle placche, che ricostituisce le sostanze nutrienti in superficie e stabilizza la temperatura. Dobbiamo probabilmente entrambi i benefici alla Luna, che inoltre impedisce che l'asse terrestre si inclini troppo.

Prime forme di vita

Appena un miliardo di anni dopo la nascita del nostro pianeta apparvero i primi organismi unicellulari (i procarioti), ma le cellule più complesse (gli eucarioti) ci misero ancora più di 2 miliardi di anni per formarsi a partire da una fusione di cellule. E da allora ci volle quasi un altro miliardo di anni prima che proliferassero le forme di vita pluricellulari nell'evento chiamato esplosione del Cambriano.

Civiltà tecnologica

Una volta nata la vita pluricellulare, era tutt'altro che sicuro lo sviluppo di una specie intelligente. Non sappiamo ancora come gli esseri umani siano progrediti così al di là dei parenti animali più stretti, ma anche la nostra specie potrebbe essere andata più volte vicina a estinguersi, come dimostrano i dati del DNA.

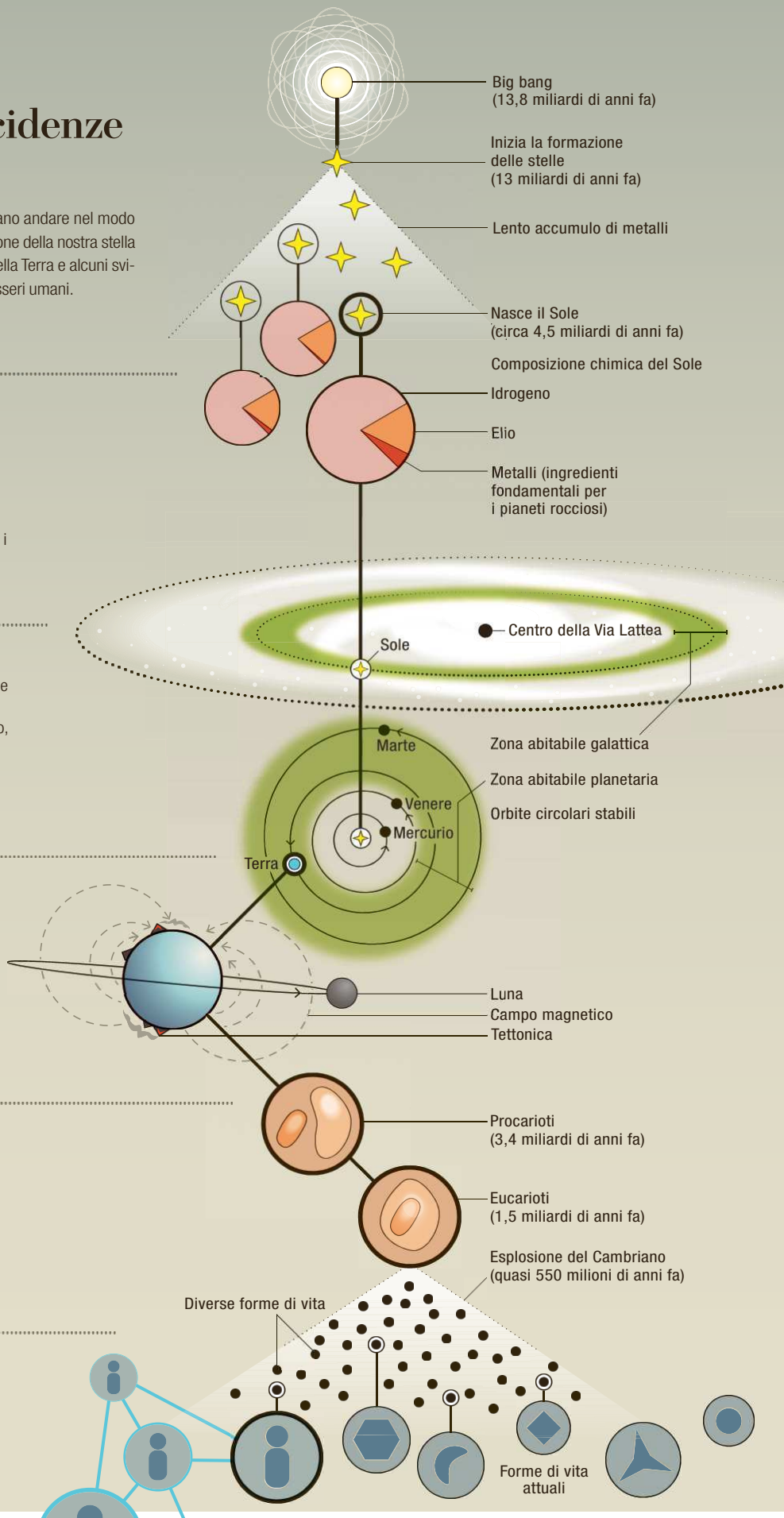


Illustrazione di Jen Christiansen

sono provocate dalla fusione di stelle di neutroni. Le osservazioni dei lampi di raggi gamma in altre galassie mostrano che sono più comuni nelle loro affollate regioni interne. Un unico lampo gamma potrebbe sterilizzare il nucleo della Via Lattea, e le statistiche basate sullo studio di altre galassie suggeriscono che nella nostra se ne verifichi uno ogni 1-100 milioni di anni.

A una distanza maggiore dal centro, tutti questi eventi catastrofici hanno un impatto minore, ma le stelle sono più rade e la metallicità è più bassa, e quindi ci sono meno pianeti rocciosi, se pure ce ne sono. Prendendo in considerazione tutti i fattori, astronomi come Charles H. Lineweaver, dell'Australian National University, hanno dedotto che esiste una «zona abitabile galattica» che si estende da circa 23.000 a 30.000 anni luce dal centro galattico: è appena il 7 per cento circa del raggio galattico, e contiene meno del 5 per cento delle stelle, per via del modo in cui si concentrano verso il nucleo. Questa regione comprende ancora molte stelle, ma la vita è esclusa dalla maggior parte degli astri della nostra galassia.

Anche se non fossimo l'unica civiltà tecnologica della galassia, dobbiamo essere una delle prime. È probabile che oggi esista un'altra civiltà tecnologica? Quasi certamente no

Il Sole è vicino al centro della zona abitabile, ma ci sono altre peculiarità astronomiche che distinguono il nostro sistema solare. Per esempio ci sono indizi del fatto che una disposizione ordinata di pianeti in orbite quasi circolari che forniscono stabilità a lungo termine sia rara, mentre la maggior parte dei sistemi planetari sono luoghi caotici, privi della calma di cui ha potuto godere la Terra per far evolvere la vita.

Un pianeta speciale

Parlando di pianeti simili alla Terra si rischia di trascurare un'altra distinzione importantissima. Gli astronomi hanno trovato circa 50 di questi mondi, ma quando dicono «simile alla Terra», intendono solo un pianeta roccioso che si trova nella zona abitabile e ha circa le stesse dimensioni del nostro. Secondo questo criterio, il pianeta più simile alla Terra che conosciamo è Venere, ma sarebbe impossibile viverci. Il fatto di poter vivere sulla Terra è il risultato di molte circostanze fortunate.

I due pianeti differiscono in molti modi significativi. Venere ha una crosta spessa, nessun segno di tettonica e praticamente nessun campo magnetico. La Terra ha una crosta sottile e mobile in cui l'attività tettonica, specialmente attorno ai confini delle placche, porta nuovo materiale alla superficie attraverso il vulcanismo. Nel corso della lunga storia della Terra, questa attività ha portato i minerali fino al livello da cui noi esseri umani possiamo estrarre le materie prime per la nostra civiltà tecnologica. La tettonica delle placche fa emergere anche sostanze nutrienti che ricostituiscono quelle consumate dalle cellule che vivono alla superficie, ed è fondamentale per riciclare il carbonio e stabilizzare la temperatura su tempi lunghi. Inoltre la Terra ha un grande nucleo metallico (nel senso quotidiano della parola) che, grazie al fatto di ruotare rapidamente, produce un intenso campo magnetico che scherma la superficie dalle nocive radiazioni cosmiche. Senza questa protezione, la nostra atmosfera probabilmente si consumerebbe, e gli esseri viventi sulla superficie non durerebbero a lungo.

Tutte queste caratteristiche del nostro pianeta sono direttamente collegate alla Luna, un'altra cosa che manca a Venere e a molti altri pianeti simili alla Terra. La migliore ipotesi degli scienziati è che il nostro satellite si sia formato all'inizio della storia del sistema solare, quando un oggetto delle dimensioni di Marte diede alla Terra in via di formazione un colpo di striscio che provocò la fusione dei due protopianeti. Il materiale metallico di entrambi gli oggetti finì nel centro della Terra, mentre una parte significativa del materiale roccioso originale del nostro pianeta, più leggero, schizzò via e diventò la Luna, lasciando la Terra con una crosta più sottile di prima. Senza questo impatto, la Terra sarebbe un corpo di roccia sterile come Venere, privo di un campo magnetico e di fenomeni tettonici. La presenza di un satellite così grande ha agito anche da stabilizzatore per il nostro pianeta. Nel corso dei millenni la Terra oscilla sul suo asse mentre gira intorno al Sole, ma grazie all'influenza gravitazionale della Luna non può oscillare più di tanto, come sembra sia invece successo a Marte. È impossibile dire con quale frequenza si verifichino questi impatti che formano sistemi doppi come la Terra e la Luna, ma chiaramente sono rari, e senza il nostro satellite probabilmente non saremmo qui.

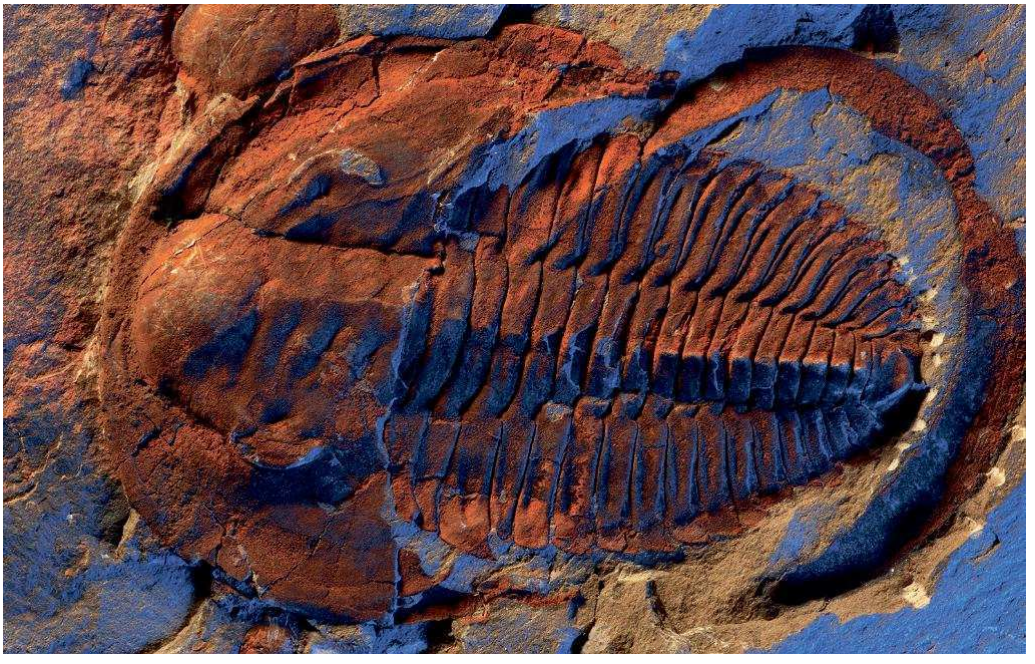
Una vita speciale

Dopo che il sistema Terra-Luna si fu stabilizzato, la vita emerse con una rapidità quasi indecente. Persino ignorando affermazioni discutibili su indizi di creature ancora più antiche, sono stati ritrovati resti fossili di organismi unicellulari in rocce di 3,4 miliardi di anni fa, appena un miliardo di anni più giovani del pianeta. Sulle prime sembrerebbe una buona notizia per chi spera di trovare organismi extraterrestri: sicuramente se la vita iniziò così presto sulla Terra, potrà essere sorta con uguale facilità su altri pianeti, no? Il problema è che, una volta iniziata, per i successivi 3 miliardi di anni non fece granché. Anzi, vivono ancora oggi sulla Terra microbi che sono essenzialmente identici a quelle originarie cellule batteriche; si tratta probabilmente delle specie di maggior successo nella storia della vita sul nostro pianeta, nonché un esempio da manuale di «squadra che vince non si cambia».

Queste cellule semplici, note come procarioti, sono poco più che sacche di gelatina, contenenti le molecole di base della vita (come il DNA), ma senza il nucleo centrale e le strutture specializzate come i mitocondri, che fanno uso di reazioni chimiche per generare l'energia necessaria alle cellule del nostro corpo. Le cellule più complesse, di cui sono composti animali e piante, sono dette eucarioti e discendono tutte da un'unica fusione di cellule avvenuta circa 1,5 miliardi di anni fa.

La fusione coinvolse due tipi di organismi primordiali unicellulari: batteri e archei. Questi ultimi sono chiamati così perché una volta si pensava che fossero più antichi dei batteri. Le prove ora suggeriscono che entrambi comparvero all'incirca nello stesso periodo, quando emerse per la prima volta la vita sulla Terra, il che significa che, comunque iniziò la vita, in realtà accadde due volte.

Una volta apparsa, tirò avanti in gran parte invariata per circa



I trilobiti sono un po' gli animali simbolo della cosiddetta esplosione del Cambriano, quando, per motivi ancora oscuri, dopo circa un miliardo di anni di stasi dalla comparsa dei primi eucarioti, circa 550 milioni di anni fa la Terra si popolò quasi improvvisamente di una moltitudine di forme di vita pluricellulari.

2 miliardi di anni. Quel tirare avanti comprendeva, tra le altre cose, «mangiare» altri procarioti inglobandoli e usandone le materie prime. A quel punto ci fu una svolta drammatica: uno degli archei inghiottì un batterio ma non lo «digerì». Il batterio cominciò a risiedere nella nuova cellula, il primo eucariote, e si evolse in modo da svolgere al suo interno compiti specializzati, lasciando libero il resto del suo anfitrione di svilupparsi senza preoccuparsi di doversi procurare l'energia. La cellula ripeté poi lo stesso trucco, diventando più complessa.

Le somiglianze tra le cellule di tutte le forme di vita avanzata sulla Terra mostrano che discendono da un unico antenato unicellulare: come piace dire ai biologi, al livello delle singole cellule non c'è differenza tra noi e un fungo. Ovviamente, la svolta potrebbe essere avvenuta più di una volta, ma se così fosse gli altri protoeucarioti non lasciarono discendenti (probabilmente perché furono mangiati). Un'idea di quanto sia improbabile una simile singola fusione di cellule è data dal fatto che ci vollero 2 miliardi di anni di evoluzione perché si verificasse.

Anche così, non accadde molto per un altro miliardo di anni o giù di lì. I primi eucarioti si unirono a formare organismi pluricellulari, ma all'inizio non erano altro che creature piatte e dal corpo soffice, fatte un po' come una trapunta. La proliferazione di forme di vita pluricellulari che ha portato all'odierna varietà della vita sulla Terra prese il via solo circa 550 milioni di anni fa, scatenandosi nella cosiddetta esplosione del Cambriano. Fu un evento così spettacolare da essere tuttora il più significativo nella documentazione fossile, ma nessuno sa perché sia avvenuto, né quanto sia probabile che avvenga altrove. A un certo punto, quell'eruzione di vita produsse una specie in grado di sviluppare una tecnologia e di interrogarsi sulle proprie origini.

Una specie speciale

La progressione da una specie primitiva a una avanzata non è stata facile. La storia dell'umanità è scritta nei nostri geni, in un modo così dettagliato che è possibile determinare dall'analisi del DNA non solo da dove provenivano varie popolazioni, ma persino da quanti individui erano composte. Una delle sorprendenti conclusioni di questo tipo di analisi è che alcuni gruppi di scimpanzé che vivono l'uno vicino all'altro nell'Africa centrale differiscono geneticamente tra loro più degli esseri umani che vivono in parti opposte del mondo. Questo può significare solo che discendiamo tutti da una piccola popolazione di esseri umani, forse i sopravvissuti di una o più catastrofi.

I dati ricavati dal DNA indicano in particolare due colli di bottiglia evolutivi. Poco più di 150.000 anni fa la popolazione umana era ridotta a non più di qualche migliaio di coppie in grado di riprodursi, forse solo poche centinaia. E circa 70.000 anni fa l'intera popolazione umana scese a qualcosa come 1000 individui. Sebbene questa interpretazione dei dati sia stata messa in discussione da alcuni ricercatori, se è corretta tutti i miliardi di persone attualmente sulla Terra discendono da questo gruppo, che era tanto piccolo che una specie che oggi si riducesse a numeri simili sarebbe considerata a serio rischio di estinzione.

Che la nostra specie sia sopravvissuta – e abbia anche prosperato, fino a contare più di 7 miliardi di individui e a divenire una società tecnologica avanzata – è sorprendente. Questo risultato era tutt'altro che scontato.

Mettendo tutto insieme, che cosa possiamo dire? È probabile che la vita esista in altre parti della galassia? Quasi certamente sì, data la velocità con cui apparve sulla Terra. È probabile che oggi esista un'altra civiltà tecnologica? Quasi certamente no, data la catena di circostanze che ha portato alla nostra esistenza. Queste considerazioni suggeriscono che siamo unici non solo sul nostro pianeta, ma nell'intera Via Lattea. E se il nostro pianeta è così speciale, diventa tanto più importante conservare questo mondo unico per noi, per i nostri discendenti e per le molte creature ospitate dalla Terra. ■

PER APPROFONDIRE

The Galactic Habitable Zone and the Age Distribution of Complex Life in the Milky Way. Lineweaver C.H. e altri, in «Science», Vol. 303, pp. 59-62, 2 gennaio. 2004. Preprint disponibile all'indirizzo: **https://arxiv.org/abs/astro-ph/0401024.**

Alone in the Universe: Why Our Planet Is Unique. Gribbin J., Wiley, 2011.

(In)significanza cosmica. Scharf C., in «Le Scienze» n. 554, ottobre 2014.

Biosphoto/AGF

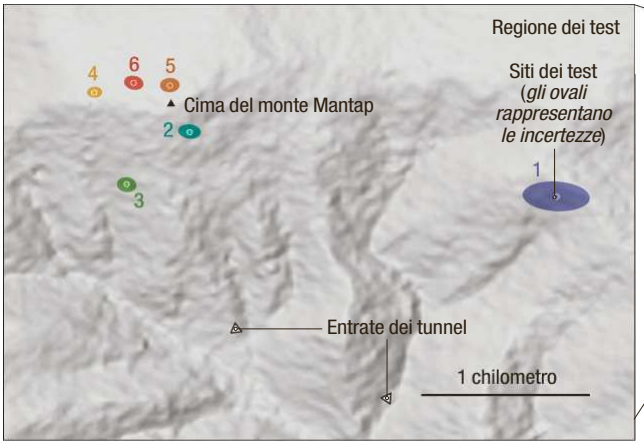
Trecento occhi sulla Corea del Nord

I test nucleari che allarmano la comunità internazionale non sono affatto segreti

A settembre 2017 la Corea del Nord ha testato la sua più grande bomba nucleare, almeno finora. L'esplosione è stata dieci volte più forte di ciascuna delle cinque detonazioni sotterranee precedenti (*mappa*). Come lo sappiamo? Una rete globale di oltre 300 stazioni che monitorano i terremoti fa da sentinella. Dopo un'esplosione, nel giro di pochi minuti i sismometri registrano due tipi di onde d'urto e allertano i servizi di *intelligence*. In seguito gli scienziati ricavano ancora più informazioni. Fin dall'ultima esplosione hanno combinato i segnali sismici con immagini satellitari e altri dati per ottenere ulteriori dettagli, pubblicati di recente, come la localizzazione precisa dei siti dei test e la potenza delle bombe (*tabella*). Se la Corea del Nord, o qualunque altra nazione, dovesse testare una bomba atomica, il mondo verrebbe a saperlo.

Katie Peek

Sei test nucleari a confronto



Data del test	Sismogramma	Potenza della bomba	Profondità dell'esplosione
1 9 ottobre 2006	Magnitudo 4.3	1,1–2,1 chilotoni (kt)	340–480 metri (m)
2 25 maggio 2009	4.7	4,6–10,4 kt	340–500 m
3 12 febbraio 2013	5.1	8–27 kt	270–450 m
4 6 gennaio 2016	5.1	8–19 kt	480–670 m
5 9 settembre 2016	5.3	20–87 kt	440–630 m
6 3 settembre 2017	6.3	104–150 kt	530–670 m

Siti dei test

Le sei esplosioni nordcoreane sono state realizzate al poligono nucleare di Punggye-ri, nelle viscere del monte Mantap. In ciascun caso, sismometri distribuiti in tutto il mondo hanno rilevato le onde d'urto. I ricercatori hanno confrontato i tempi di arrivo in stazioni diverse per determinare l'origine dell'esplosione.

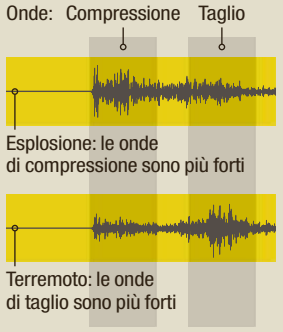
Potenze delle bombe

Il test del 2017 ha generato l'equivalente di un terremoto di magnitudo 6.3. Inizialmente i sismologi hanno usato una relazione standard, basata su vecchie detonazioni francesi e russe, da cui hanno ottenuto una potenza da 100 a 200 chilotoni di TNT. Le stime più recenti, basate su analisi più dettagliate, stimano l'esplosione in 125 chilotoni. Come paragone, la bomba di Hiroshima aveva una potenza da 13 a 18 chilotoni.

Profondità delle esplosioni

Gli scienziati determinano se è un'esplosione è avvenuta vicino alla superficie o in profondità elaborando modelli dell'area del test e simulando un intervallo di potenze e profondità.

Come dedurre un'esplosione da un sisma



I sismometri registrano onde di compressione e di taglio nella Terra. Un'esplosione comprime la roccia molto più di quanto la scuote trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione, così queste firme sono più intense.

Come dedurre un'esplosione dal crollo di una grotta

La firma del collasso di una cavità sotterranea somiglia a quella di un'esplosione, a eccezione del movimento iniziale della roccia verso l'interno.

Fonti: *The Coupled Location/Depth/Yield Problem for North Korea's Declared Nuclear Tests*, di Michael E. Pasyanos e Stephen C. Myers, in «Seismological Research Letters», pubblicato on line, 8 agosto 2018 (*potenza bombe e profondità esplosioni*); *Absolute Locations of the North Korean Nuclear Tests Based On Differential Seismic Arrival Times And Insar*, di Stephen C. Myers e altri, in «Seismological Research Letters», pubblicato on line, 15 agosto 2018 (*siti dei test*); www.norsar.no (*sismogrammi*); *The Punggye-Ri Nuclear Test Site: A Test Tunnel Tutorial*, 38 North,23 maggio 2018, www.38north.org/2018/05/punggyetunnel052318 (*siti dei tunnel*); U.S. Geological Survey (*magnitudo terremoti*)

Grafica di Katie Peek

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Embargo scientifico senza misteri

Come funziona uno strumento giornalistico che non nasconde alcuna cospirazione

Ogni tanto la NASA o altri enti scientifici indicono conferenze stampa straordinarie senza spiegarne subito pubblicamente il motivo, scatenando puntualmente l'isteria degli appassionati di pseudoscienze e soprattutto l'appetito dei siti web dedicati allo stesso tema, perennemente a caccia di notizie acchiappaclick che generino introiti pubblicitari.

Vista da fuori, l'atmosfera di segretezza che circonda questi annunci può effettivamente far pensare a una sorta di congiura del silenzio da parte degli scienziati per preparare il mondo a chissà quale terribile evento. Ma vista da dentro è tutt'altro: si tratta della banale ma necessaria consuetudine dell'embargo giornalistico. Lo so perché di questa congiura faccio parte anch'io, come tanti altri giornalisti. È successo di recente, per esempio, con la notizia della scoperta di un altro pianeta nano nel sistema solare, indicato con la sigla 2015 TG378 e soprannominato The Goblin.

Funziona così: qualunque giornalista che scriva articoli riguardanti la scienza può iscriversi gratuitamente a uno dei vari servizi, per esempio EurekAlert, che coordinano la distribuzione di comunicati stampa scientifici sotto forma di anteprima, a condizione di non pubblicarne il contenuto fino a una certa data. Il giornalista riceve così un link riservato e una password per accedere a tutto il materiale informativo che gli serve per preparare in anticipo un articolo sulla notizia scientifica in questione: nel caso di The Goblin, immagini, tabelle, testo completo dell'articolo scientifico della Carnegie Institution for Science che ha coordinato la ricerca, e altro ancora.

Sapendo per tempo di cosa si tratta, le redazioni possono pianificare contenuti e quantità di spazio da dedicare alla notizia e organizzare l'eventuale invio di un giornalista per intervistare i protagonisti, i giornalisti hanno tempo sufficiente per preparare per bene articoli o servizi radiotelevisivi e gli editori possono predisporre senza panico le tirature speciali del caso. Il risultato è un'uscita ben coordinata e contemporanea della notizia su tutti i canali informativi, che la amplifica e ne fornisce ai lettori un quadro completo e non distorto dalla fretta.

Il sistema, insomma, funziona egregiamente e non nasconde nessuna cospirazione per nascondere la verità. Ma magari a qualcuno può venire il dubbio che lo stesso sistema potrebbe essere sfruttato per occultare qualcosa. I giornalisti sarebbero abituati a farsi imbavagliare e quindi un embargo mondiale su una rivelazione scientifica scomoda sarebbe facile.

Quest'ipotesi si scontra con la natura umana: rispettare questo embargo è una scelta puramente volontaria del singolo giornalista e se ci fosse davvero una notizia scientifica clamorosa la voglia di battere sul tempo i colleghi con uno *scoop* apparentemente esclusivo e diventare famosi sarebbe irresistibile. Almeno uno dei tanti giornalisti al corrente della notizia violerebbe l'embargo. È vero che verrebbe poi escluso dalle anteprime successive, ma di fronte all'opportunità di fare carriera sarebbe per molti un sacrificio accettabile.

Strumento utile. L'embargo sulle scoperte scientifiche permette di pianificare e ottimizzare nel modo migliore il lavoro dei giornalisti che vogliono darne notizia.

L'unico difetto grave di questo sistema di embargo volontario è che favorisce appunto chi specula sul presunto mistero. Per questo sta nascendo una nuova abitudine fra i giornalisti: rispettare l'embargo ma informare il pubblico della sua esistenza e chiarire subito che non riguarda asteroidi in rotta di collisione, l'arrivo degli alieni, la scoperta dello yeti o altri sconvolgimenti. State certi che se dovesse davvero arrivare un annuncio scientifico comprovato del genere, l'embargo durerebbe un nanosecondo. Perché se c'è una categoria ancor meno incline dei giornalisti a tenere segreto uno scoop, è proprio quella degli scienziati.

Javier Larrea/age fotostock/AGF

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015) e *Il trucco c'è e si vede* (Chiarelettere, 2018)

Che paura quella luce blu

L'esposizione alla luce dei gadget elettronici è davvero nociva per la pelle?

"Un nuovo nemico cutaneo è in agguato», attacca l'articolo di una rivista femminile. «Lo chiamano il male del XXI secolo», si spiega su un sito di informazioni sulla bellezza. Una pubblicità ci informa che «solo il 61 per cento delle donne è consapevole di che cosa sia». Parliamo di «HEV, acronimo di *high energy visible light*», per gli amici semplicemente «luce blu», quella emessa dai dispositivi elettronici come computer, cellulari e *tablet*.

Con l'arrivo dell'autunno, gli scaffali delle profumerie si sono riempiti di creme, sieri e prodotti per il contorno occhi pensati appositamente per contrastare gli effetti di questa radiazione luminosa, mentre i giornali ci informano che il colosso dell'informatica Apple si è unito al colosso delle *influencer*, la ventunenne Kylie Jenner, per formulare una crema protettiva di cui, per ora, conosciamo solo il nome: Selfie Cosmetic.

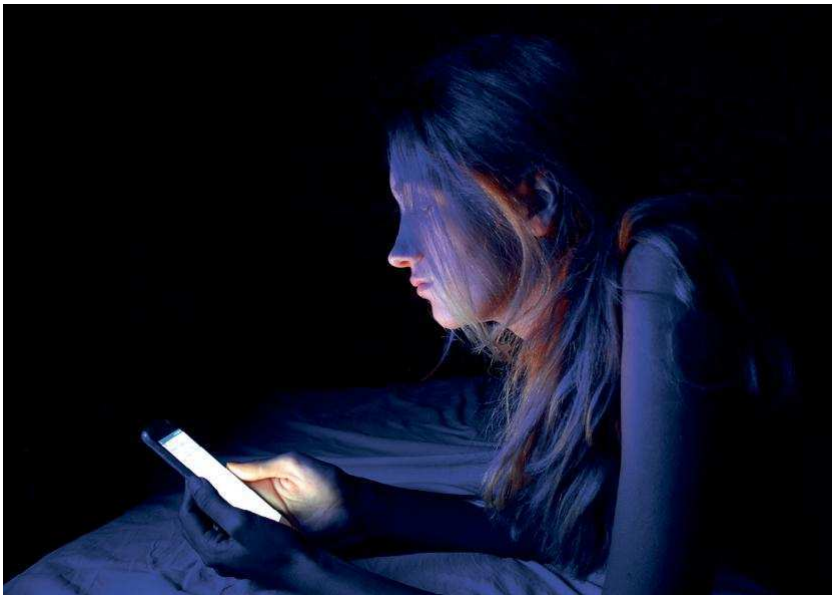
Come spesso accade nelle storie della cosmesi, anche in questa ci sono elementi veri, elementi inventati e elementi un po' gonfiati dalla pubblicità per battere la concorrenza e inseguire (o creare) i bisogni dei consumatori.

Quando pensiamo ai danni prodotti dalle radiazioni luminose, la nostra mente va subito ai raggi ultravioletti prodotti dal Sole, ma le ricerche degli ultimi anni suggeriscono che altre componenti dello spettro elettromagnetico, nel visibile o nell'infrarosso, possono contribuire al danno indotto da UV. In particolare proprio la luce blu, quella compresa tra i 400 e i 500 nanometri, che prima ancora di essere emessa da tablet e cellulari arriva sul nostro pianeta direttamente dal Sole.

Molti degli studi più vecchi che mostravano evidenti danni indotti da queste radiazioni sono stati messi da parte perché usavano fonti luminose che producevano anche raggi ultravioletti, responsabili, molto probabilmente, degli effetti misurati. In tempi più recenti e con metodologie migliori si è scoperto che l'esposizione alla luce blu provoca un aumento effettivo della pigmentazione della pelle in persone con un fototipo alto, cioè con la pelle scura, oltre a stimolare la produzione di radicali liberi.

I radicali liberi sono sostanze molto reattive che hanno un'azione distruttiva nei confronti di quello che incontrano e sono tra i principali responsabili dell'invecchiamento della pelle. Questi effetti sono comunque molto minori di quelli indotti dall'esposizione ai raggi ultravioletti, ma almeno per quanto riguarda la pigmentazione sembrano interessanti. La dinamica non è ancora del tutto nota, ma in uno studio, condotto nel 2014 all'Università di San Paolo del Brasile e pubblicato sulla rivista «PLoS One», si ipotizza che l'aumento di pigmentazione derivi dall'interazione fra la luce blu e la melanina con un meccanismo che viene definito di fotosensibilizzazione. Questo, secondo i ricercatori, spiegherebbe perché le persone con pelle più scura (e quindi con più melanina) sarebbero maggiormente colpite dagli effetti della luce blu.

Come vedete, ho fatto largo uso del condizionale, perché le ricerche su questo fenomeno sono ancora agli inizi e non sono per nulla conclusive.



Gli effetti della cosiddetta «luce blu» emessa da tablet e smartphone sono oggetto di studi ancora agli inizi e i cui risultati non sono ancora conclusivi.

Ma lo sono ancora meno gli studi sull'efficacia di creme e altri preparati che dovrebbero proteggerci da questi danni. Dalle ricerche svolte si sa che i filtri solari classici non funzionano nel filtrare la luce visibile, nemmeno se applicati in grandi quantità. Gli antiossidanti, come le vitamine C ed E, sembrano avere un effetto protettivo nel contrastare la produzione di radicali liberi, ma hanno grossi limiti di stabilità, mentre l'ossido di ferro, una sostanza usata da decenni come colorante in fondotinta e molti prodotti per il *make-up*, ha dimostrato di ridurre gli effetti di fotosensibilizzazione che portano all'aumento di pigmentazione.

Insomma, di strada da percorrere ce n'è ancora tanta prima di portare davvero sugli scaffali soluzioni reali.

iStock/sapozhnik

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*

Il sangue non fa la dieta

La teoria che lega gruppi sanguigni e regimi alimentari non ha basi scientifiche

Tra i regimi alimentari nati di recente c'è quello che lega il cibo al proprio gruppo sanguigno. Il nostro sangue è classificato in vari gruppi a seconda di quali molecole sono legate a una proteina – chiamata antigene H – ancorata alla superficie dei globuli rossi. Semplificando, se il sangue è di gruppo A una certa molecola è legata a quella proteina, se è B ce n'è un'altra, se è AB ci sono entrambe e se è 0 nessuna.

Il primo autore ad avere avuto un grande successo con l'idea di associare una dieta specifica a ogni gruppo sanguigno è stato Peter D'Adamo. Nel 1996 ha pubblicato il libro *Eat Right for Your Type*, cioè «mangia nel modo corretto a seconda del tuo gruppo sanguigno». Tradotto in più di 60 paesi il libro ha venduto più di sette milioni di copie. In Italia questo regime alimentare, un po' adattato, è diventato popolare grazie a un libro pubblicato nel 2012.

Secondo D'Adamo, il gruppo sanguigno contiene una sorta di ricordo codificato della dieta che seguivano gli esseri umani nel momento in cui quel gruppo sanguigno è apparso. Secondo la narrazione di questo regime alimentare, il gruppo 0 è il più antico, quello del nostro antenato cacciatore-raccoglitore. Quindi chi ha il gruppo 0 dovrebbe mangiare preferibilmente quello che mangiavano quegli esseri umani: carne. L'agricoltura non era ancora stata inventata quindi niente spaghetti. Il gruppo A, sempre secondo questa narrazione, sarebbe apparso con l'invenzione dell'agricoltura e quindi la persona di gruppo A dovrebbe prevalentemente mangiare vegetali e pochi prodotti animali. Il gruppo B, evolutosi nelle tribù nomadi che consumavano latte e latticini dovrebbe consumare quelli e trarne beneficio. Il gruppo AB è un mix tra A e B.

Ma è vero che il gruppo 0 è quello più antico? Non pare proprio. Il primo gruppo sanguigno a essere apparso nell'evoluzione delle specie è il gruppo A, poi il B e infine lo 0. E quando è apparso *Homo sapiens* erano già presenti tutti i gruppi: 0, A, B e AB. La teoria quindi è errata. Ma nel 2018 uno studio ha messo alla prova anche la pratica di questo regime alimentare. A un migliaio di persone sovrappeso è stato misurato peso, girovita, pressione, colesterolo, trigliceridi e così via. Dopo aver analizzato che cosa mangiavano abitualmente i soggetti, i ricercatori hanno spiegato loro come alimentarsi correttamente, che cosa evitare e che cosa mangiare preferibilmente. Non hanno dato alcuna dieta specifica ma hanno lasciato libere le persone di adattare i consigli al loro modo di alimentarsi.

Per sei mesi i partecipanti hanno compilato un questionario per descrivere che cosa mangiavano durante il giorno, e alla fine hanno rifatto le varie misurazioni. I ricercatori hanno poi assegnato un punteggio per stabilire quanto fossero vicine le diete dei vari soggetti a quelle prescritte per i gruppi sanguigni. Ogni gruppo infatti ha alimenti favoriti, alimenti neutri e altri da evitare. Qualcuno senza saperlo si era avvicinato a una dieta di tipo 0, altri a una dieta di tipo A, altri ancora a nessuna in particolare e così via.

Secondo la teoria, una persona di gruppo 0 che segue una dieta da gruppo 0 dovrebbe avere parametri migliori di un gruppo 0 che però mangia come un gruppo B, per esempio. E lo stesso per tutti gli altri gruppi. I risultati? Chi ha seguito più strettamente una dieta di tipo A aveva migliorato i propri parametri meglio di tutti gli altri, ma anche chi si è avvicinato a una dieta di tipo 0 o B stava comunque meglio. I miglioramenti però erano indipendenti dal gruppo sanguigno. Erano invece dovuti al fatto che i partecipanti hanno ridotto il consumo di cibi processati e bevande zuccherate e aumentato la varietà di cibi freschi, specialmente frutta e verdura. Insomma, niente di nuovo sotto il Sole. I ricercatori hanno concluso quindi che il gruppo sanguigno non pare avere alcun legame con la nostra dieta.

Cacciatore-raccoglitore? La teoria che lega sangue e dieta afferma che il gruppo 0 sarebbe emerso nei nostri antenati cacciatori-raccoglitori, quindi andrebbe bene con la carne.

ugurv/iStock

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Che la scopa sia con voi

«Stiamo facendo le pulizie», mormora Piotr. «Stiamo facendo le pulizie», conferma Rudy.

Nessuno dei due però alza gli occhi verso la rientrante Alice, ancora ferma sulla soglia di casa. Quanto vede, in effetti, può prestarsi a interpretazioni diverse, alcune indubbiamente creative, anche perché solo con un certo sforzo di fantasia si poteva annoverare l'azione del «fare le pulizie» tra le deduzioni possibili. Anche perché Alice vede una gatta precariamente accucciata su un robottino in movimento; vede che questi subisce le feline e ripetute zampate sui sensori con meccanica abnegazione, cambiando ubbidientemente direzione a ogni colpo; vede che il movimento della strana coppia, per quanto casuale, è rigorosamente delimitato da un reticolo laser, reso a malapena visibile dal fumo di una pipa; e vede che la pipa è stretta nella mano di uno dei due umani che, all'esterno del reticolo quadrato, osservano attentamente il percorso ubriacante di gatta e robot.

«Pulizie, eh? Strano. Avrei detto che, dopo esservi sciroppati per l'ennesima volta tutta la maratona di *Guerre stellari*, avete costretto la povera Incapacity a ricoprire il ruolo del Millennium Falcon e l'ancor più disgraziata Gaetanagnesi a interpretare quello di Rey. O forse quello di Han Solo, nonostante la diversità di genere.»

«Ehm... fa Chewbecca, in realtà. Ha detto che si rifiuta di interpretare la parte di esseri viventi sprovvisti di un manto decente di pelliccia.»

«Giusto», approva Alice: «E immagino che il "fare le pulizie", in questo scenario, significhi evocare il raggio distruttore della Morte Nera su tutto l'appartamento. Quei raggi laser sono il mirino degli incrociatori imperiali?»

«Tranquilla, Treccia...»

«Sai benissimo che quella è una delle poche frasi che non mi rendono tranquilla.»

«No, davvero: stiamo pulendo casa sul serio. Abbiamo montato i dischi della lucidatrice sotto Incapacity. Vedi com'è bello lucido il quadrato di pavimento in cui l'abbiamo vincolata?»

«Povera Incapacity... ridotta al rango di misero robot aspirapolvere. Gli avrete anche modificato il *software* per farla girare seguendo un percorso casuale, presumo.»

«Sì. Cioè, no. Insomma, ci abbiamo provato, ma non è venuto molto bene – confessa Piotr – ed è per questo che Chewbe... cioè Gaetanagnesi si è messa ai comandi. Fa da pilota stocastico.»

«Tutto ciò è bellissimo – ringhia Alice – specialmente considerando che vi avevo solo pregato di spazzare un po' il soggiorno. Fremo dal desiderio di scoprire cosa sarete in grado di architettare quando vi chiederò di tinteggiare la casa.»

«Dai, Treccia, su... – prova a rassicurarla Rudy – è del tutto evidente che abbiamo cercato di unire l'utile al dilettevole...»

«... anche se forse ci siamo sbilanciati un po' troppo sul dilettevole, però», ammette Doc.

«Ma no: il robottino lo abbiamo ripulito, la micia si diverte parecchio, il grado di pulizia del pavimento aumenta vertiginosamente, e io e Doc ci godiamo un po' di sana matematica sperimentale. Che male c'è?»

Illustrazione di Stefano Fabbri

«Dentro l'espressione "matematica sperimentale" si annida sempre il male. Anzi, il Male con la maiuscola. Ma tanto lo sapevo già; come so che adesso comincerai a illustrarmi l'importante ricerca matematica che tu e Doc state intraprendendo, nonché l'indispensabile necessità di farlo in uno scenario da set cinematografico.»

«Oh, sono proprio contento che tu me l'abbia chiesto! Allora, guarda bene: l'area in cui Incapacity si può muovere, ricoperta da un reticolo di posizionamento, è quella di un quadrato, che definiamo essere di lato unitario...»

«Reticolo di posizionamento... è per questo che hai acceso e incollato al pavimento tutti i puntatori laser di casa?»

«Non proprio tutti, Treccia», interviene Piotr: «In realtà non ba-

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di dicembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

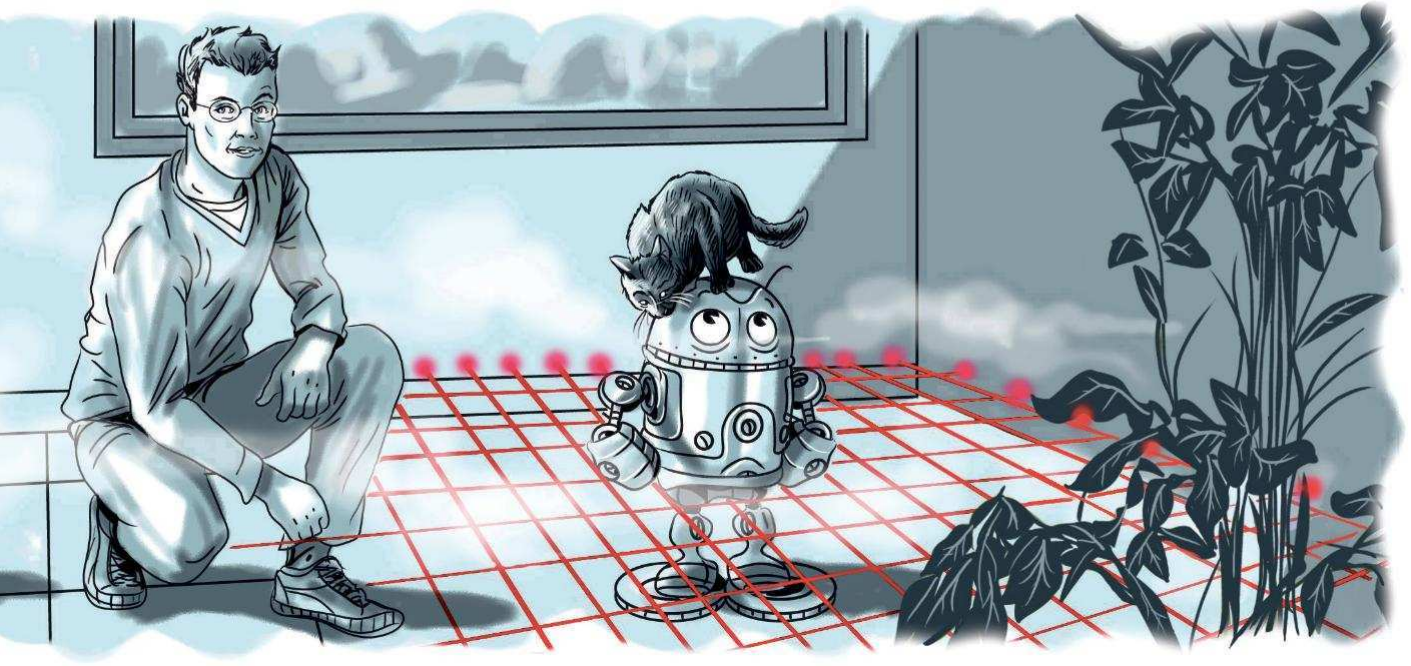
Bastano una gatta, un robot e un reticolo di laser perché la pulizia dei pavimenti si trasformi in ricerca matematica

IL PROBLEMA DI OTTOBRE

I nostri eroi, il mese scorso, si sono lanciati nel periglioso mondo dell'imprenditoria, mettendo in vendita magliette matematiche. Il loro business era stabilizzato sulla vendita quotidiana di 500 magliette a 15 euro l'una, ma hanno capito che una riduzione del prezzo di vendita di 15 centesimi avrebbe portato a vendere 20 magliette in più. Si predisponevano quindi a calcolare quale fosse il prezzo ideale delle magliette. Si tratta di un problema di ottimizzazione esprimibile parametricamente; la spesa per l'acquisto di N magliette indicata come S_n può essere scritta come $N(k) \times S_1$, dove S_1 indica la spesa per una singola maglietta, e il numero di magliette vendute come $N(k) = N_0 + n \times k$, ricordando che $N_0 = 500$ e $n = 20$. In funzione del parametro k, il ricavo per una maglietta è $R_1 = R_0 + r \times k$, con $R_0 = 15$, $r = -15/100$, quindi per N magliette il ricavo sarà: $R_n(k) = R_1(k) \times N(k)$. Il guadagno, ovvero la differenza tra il ricavo e la spesa, è pertanto:

$$G_n = R_n(k) - S_n(k) = [R_1(k) - S_1] \times N(k) = (R_0 + r \times k - S_1) \times N_0 + n \times k =$$
$$= (rn)k^2 + [(R_0 - S_1) \times n + N_0 \times r]k + (R_0 - S_1) \times N_0$$

…che è la funzione cercata, quella che esprime il guadagno in funzione di k. Si vede che è l'equazione di una parabola con la concavità rivolta verso il basso (in k). Derivando un paio di volte è facile assicurarsi la conoscenza del punto di massimo, ma visto che si tratta di una parabola si può anche, più semplicemente, ricordare che l'ascissa del vertice della parabola è pari a $-b/(2a)$. Si vede allora che il massimo guadagno si avrà riducendo il prezzo a 11,87 euro, cosa che porterà alla vendita di circa 916 magliette.



stavano... quindi ne abbiamo dovuto comprare ancora un paio di dozzine...»

«Già. Serve un reticolo piuttosto preciso, per la registrazione dei dati. Comunque, Incapacity è programmata per fare percorsi di lunghezze appena superiori a $2n$, tenendo come unità di misura il lato della stanza. Tutti i dati di ogni cammino dell'ubriaco...»

«Ah, camminate anche voi due, oltre a gatta e robot?»

«Spiritosa. Dicevo, tutti i dati vengono raccolti dal computer e analizzati, ricostruendo la spezzata del cammino e individuando così la retta.»

«Quale retta?»

«Quella importante, Treccia. Registriamo ogni volta che il baricentro di Incapacity attraversa le linee del reticolo, e contiamo i passaggi. Tutto nasce dal fatto che, secondo il Capo, esiste sempre almeno una retta parallela a un lato del quadrato che viene attraversata almeno $n + 1$ volte, in ogni percorso di lunghezza superiore a $2n$.»

«Non so se preoccuparmi più delle giravolte che farà la mia povera micia o della perversione dei meccanismi cerebrali di Rudy. Come diavolo è riuscito a partorire un'affermazione del genere? »

«Ma infatti! Per questo ho contestato la sua affermazione; ma lui ha insistito, mi ha sfidato a trovare una controprova, poi una cosa tira l'altra e siamo finiti a mettere su quest'esperimento, per accumulare un buon numero di prove pratiche, che...»

«...che, come è noto, in matematica non servono a un accidente, per confermare o smentire una congettura. Ma una tranquilla, riposante, non-robotica e non-felina dimostrazione teorica di esistenza di quella fantomatica retta no, vero?»

«Vabbè, forse... ma sempre meglio così che risolvere la questione con il duello con spade laser che voleva fare Rudy, no?»

Più che umani grazie alla tecnologia

Essere una macchina
di Mark O'Connell
Adelphi, Milano, 2018, pp. 260 (euro 19,00)

Iniziamo dalle assenze: nel libro non si analizzano gli algoritmi per simulare la mente, non ci sono tecnicismi da programmatore, né si trovano dettagli biotecnologici. Non è un manuale di cibernetica, né di informatica, non affronta profondità ingegneristiche sui sistemi di controllo remoto o sulle difficoltà del riconoscimento vocale. Il lettore troverà riferimenti filosofici, letterari, religiosi e domande sui concetti di «persona», «umano», «individuo», «intelligenza». Il tutto in salsa *gonzo*: interviste, osservazioni sul campo, riflessioni personali.

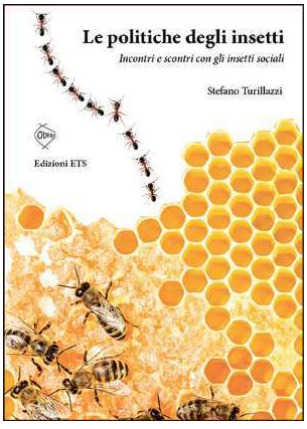
Mark O'Connell – giornalista *freelance* irlandese – propone un reportage su un tema fondamentale: superare i limiti umani grazie alla tecnologia. Icaro con le sue ali rappresenta un mito durevole su questo tema, mescolando visione e *hybris*, caratteristiche che ritroviamo spesso nei personaggi intervistati dall'autore. Ognuno di loro vive a cavallo di un limite: della morte, della fisicità della mente, delle potenzialità dei nostri sensi, e spinge per spostare il limite un po' più in là. La criogenica, per esempio, ferma il corpo al momento della morte, subito prima del decadimento: chi volesse, potrebbe pagare un'azienda per congelare il cadavere (appena dichiarata la morte) in azoto liquido, in attesa che la medicina trovi una cura per la malattia che ha ucciso il corpo, o che la tecnologia trovi un modo di spostare il contenuto del cervello (tutto compreso) su un altro supporto. Alla firma del contratto, il cliente in effetti sceglie se il *freezer* accoglierà tutto il corpo o solo la testa (tuttora, il contenitore più adatto per il cervello). Ci vuole un certo ottimismo, ovviamente: non è detto che medicina e informatica salvino il corpo o i nostri ricordi. Per ora, le macchine sanno fare un sacco di cose anche molto complicate: guidare, calcolare, giocare a scacchi o a go. Ma già solo riuscire a camminare sulle macerie di un palazzo, capire che si debba aprire una porta o girare una valvola sono compiti che un robot – al contrario di un bambino – non riesce a portare a termine.

La parte che O'Connell dedica ai robot avanzati e al festival organizzato dalla statunitense Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) è effettivamente molto interessante e divertente: grandi intelligenze che nonostante milioni di dollari di investimenti si sfidano in pubblico e non riescono a far scendere autonomamente un robot da un SUV. Il tutto tra hot dog, maxischermi e popcorn, nonostante l'evidente scopo bellico dello spettacolo. Oppure, in altri casi, robot e intelligenza artificiale avranno uno scopo di totale sostituzione del lavoro umano. O'Connell non può fare a meno di notare quanto l'innovazione nel campo della robotica abbia radici che «affondano nel terreno della guerra, impregnato di sangue», sia cioè anche il frutto della relazione tra Silicon Valley e Pentagono. La DARPA finanzia Google che a sua volta investe in una serie di progetti volti a cambiare il mondo del lavoro e l'immagine che abbiamo dell'umano: guida autonoma, intelligenze artificiali estreme (al punto da suscitare molte paure), potenziamento del corpo, allungamento della vita e/o sconfitta definitiva dell'invecchiamento e della morte. Esiste però anche un sogno diverso, «dal basso», che sembra rispondere a logiche diverse pur perseguendo sogni simili. Sono gli *hacker* del corpo umano, che vogliono «potenziare l'umanità attraverso tecnologie sicure, accessibili e *open source*». In garage si impiantano sensori per i campi elettromagnetici, di fatto aggiungendo un senso ai cinque tradizionali, o *chip* per monitorare in continuazione le funzioni dell'organismo. Insomma, andare oltre l'umano, diventare «transumani» per trascendere il corpo, inutile e dannoso orpello ben adattato darwinianamente alla savana, ma evidentemente imperfetto (soprattutto se vuoi vivere 1000 anni).

Alla fine, il transumanesimo sembra raggiungere uno status para-religioso, una sorta di fede nella tecnologia verso una sorta di vita eterna. Che sia Google (che in questo campo ha investito milioni di dollari) a donare l'immortalità, o una divinità di qualche tipo, non sembra cambiare molto. E proprio il tono ironico di questo riuscitissimo libro ci ricorda che, di fronte alla fede, il dubbio è necessario.

Mauro Capocci

Gli insetti sociali tra laboratorio e ricerca sul campo

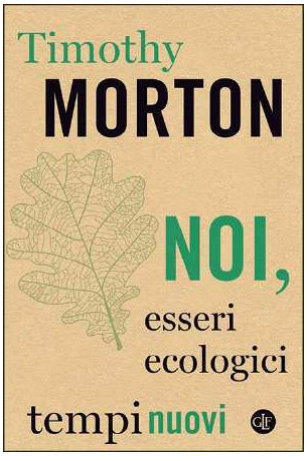


Le politiche degli insetti
di Stefano Turillazzi
ETS, Pisa, 2018,
pp. 176 (euro 15,00)

Sono molti gli insetti che preferiscono vivere insieme ai propri simili, per vantaggi che includono la difesa, il cibo e la riproduzione. Comunità di vespe, api, formiche e termiti popolano il pianeta in ambienti molto diversi tra loro, dalle case europee alle foreste del Sudest asiatico. Sono un oggetto di studio affascinante, che continua a porre importanti domande a chi sia disposto ad ascoltare. Stefano Turillazzi fa ricerca da qualche decennio sui comportamenti degli insetti sociali (e in particolare di un grande gruppo di vespe, le stenogastrine), e si considera a tutti gli effetti un entomologo e un sociobiologo. Ciò vuol dire visitare luoghi affascinanti e lontani, come le foreste asiatiche, e meno esotici, come il tetto di una casa fiorentina, accomunati dalla presenza di questi insetti: ovunque svolgono ruoli fondamentali nel loro ecosistema, con un impatto profondo. Ma l'attività descritta nel volume non è solo la divertente (anche se in alcuni casi pericolosa) ricerca sul campo, ma è anche guardare per ore contenitori trasparenti con le colonie in laboratorio, per carpire i segreti della complessa organizzazione che ne struttura la vita e le rende interessanti.
Questo libro mette insieme diversi registri: il testo scientifico, modellato sulle lezioni universitarie tenute a Firenze, è intrecciato alla narrazione autobiografica. Quindi le amate vespe asiatiche sono lo spunto per raccontare della grande tenuta di un collega esperto di farfalle, mentre il viaggio con la famiglia negli Stati Uniti è l'occasione per toccare con mano l'invasione di una specie europea. È un modo – efficace – per rendere più accessibile l'argomento anche ai non addetti ai lavori.

Mauro Capocci

Una riflessione sulla nostra relazione con l'ambiente



Noi, esseri ecologici
di Timothy Morton
Laterza, Bari, 2018,
pp. 216 (euro 16,00)

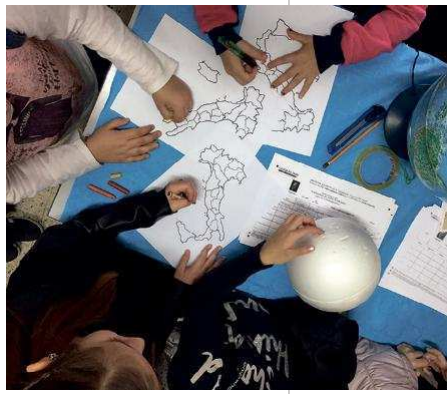
Lo scrive chiaro fin dall'introduzione: non è un'analisi del pensiero ecologico, né un'esposizione di nuove scoperte sul nostro rapporto con la natura. Allora, perché leggere un saggio sull'ecologia scritto da un filosofo specializzato nell'arte del Romanticismo? A Timothy Morton interessa indagare il modo in cui ci relazioniamo, come società, con ecologia e ambiente. E lo facciamo nel modo peggiore possibile, tra un flusso enorme di dati e fatti che Morton chiama «discarica dell'informazione» e un'altrettanto vasta varietà di «fattoidi», affermazioni che sembrano vere ma in realtà sono verosimili, che ci impediscono di osservare quello che accade con oggettività. I dati sono essenziali per affrontare un discorso razionale ma, avverte Morton, non sono fatti, né fatti scientifici o tanto meno verità. Qui si annida uno scarto di percezione che ha bisogno di una filosofia che scavi in profondità, studiando i rapporti tra società ed entità dalle conseguenze immani, per esempio il cambiamento climatico. Sono entità che nel suo gergo tecnico Morton chiama iperoggetti, oggetti enormi, trascendentali, che si collocano ovunque nello spazio ma hanno legami con il qui e ora. Bisogna capire come relazionarci con gli iperoggetti per poter avere una leva sufficiente a impedire che il futuro sia già segnato e porti alla prossima estinzione di massa. Che cosa fare, però, Morton non lo dice. Tuttavia, attraverso il pensiero di Kant e Heidegger, e con l'aiuto della cultura pop, da *Star Wars* ai Talking Heads, guida il lettore in una riflessione profonda sul significato di parole che usiamo tutti i giorni e che non sembra sappiamo fino in fondo in che senso lo facciamo. A cominciare da una demolizione di quella che lui ritiene la peggiore delle fallacie filosofiche: l'antropocentrismo.

Marco Boscolo

Cortesia Giuseppe Murru

Le risorse di Cagliari per la scienza

Quelle del pianeta da preservare e difendere da uno sfruttamento eccessivo, ma anche quelle necessarie alla scienza per portare avanti la propria attività di ricerca. Sono «le risorse» il tema dell'undicesima edizione del Cagliari Festival Scienza, declinato con ospiti di ambito scientifico e letterario, italiani e dall'estero. Dall'8 al 13 novembre, nelle sedi dell'EXMA, del Teatro Sant'Eulalia e del planetario INAF-Osservatorio astronomico di Cagliari e Selargius si avvicenderanno ar-



gomenti e protagonisti, come per esempio l'astrofisica Marica Branchesi, eletta da «Nature» tra i dieci scienziati dell'anno nel 2017 per il suo contributo alla rilevazione delle onde gravitazionali, che insieme a Ettore Majorana, coordinatore INFN di Roma per il progetto Virgo, dedicato sempre alle onde gravitazionali, inaugureranno il festival.
Tra gli 80 appuntamenti in programma, aperti a tutti e tutti gratuiti, ci sarà spazio anche per una ventina di laboratori per grandi e piccoli. Ma non finisce qui. Dopo le date di Cagliari, infatti, il festival proseguirà in altre città sarde, per concludersi l'1 dicembre a Iglesias. Per tutte le informazioni, visitate il sito web: http://www.festivalscienzacagliari.it/it/home-it. (*cb*)

Un bacio tra le stelle
di Harry Collins
Raffaello Cortina, Milano, 2018,
pp. 460 (euro 28,00)

I cinque mesi di stress che hanno portato alle onde gravitazionali

«Una caratteristica straordinaria di questa scoperta è il tempo trascorso ad assicurarsi che non si sia trattato di un inganno. [...] L'Evento ha dato origine a una nuova caratteristica del metodo scientifico: la paura della beffa.» L'Evento di cui parla Harry Collins è la prima onda gravitazionale mai rilevata, il 14 settembre 2015, e annunciata al mondo in una conferenza stampa l'11 febbraio 2016. Collins, da sociologo della scienza che ha seguito per più di quarant'anni il lavoro di quella particolare comunità di ricercatori, racconta ciò che è accaduto in quei cinque mesi, con un'attenzione ai dettagli da anatomopatologo. Va subito chiarito che non si tratta di un libro di divulgazione (anche se Collins spesso si sofferma a spiegare alcuni aspetti tecnici), ma del fitto resoconto di un'indagine sociologica condotta sul campo analizzando soprattutto il flusso di comunicazioni (mail, teleconferenze, riunioni e resoconti di singoli fisici) all'interno della collaborazione LIGO- Virgo in quei mesi turbolenti.

Quando, dopo una ricerca iniziata decenni prima e per lungo tempo considerata da molti pure all'interno della comunità scientifica un'impresa velleitaria, gli interferometri di LIGO catturano il segnale destinato a rivoluzionare il nostro modo di conoscere l'universo, i fisici all'inizio sono impegnati ad accertarsi che non si tratta di una falsa iniezione di dati per testare il sistema o addirittura di una frode informatica. Poi inizia la complessa analisi della significatività statistica del segnale, infine l'acceso dibattito per la scrittura dell'articolo che porterà la firma di più di 1000 ricercatori, dal titolo all'abstract, all'uso dei termini (è giusto parlare di prima osservazione diretta?).

Già a metà dicembre, racconta Collins, la comunità appare sfibrata dal processo di validazione della scoperta. Anche perché c'è da mantenere un riserbo assoluto, nonostante i *rumors* crescenti e la necessità di condividere alcune informazioni sull'Evento con scienziati al di fuori della collaborazione nella speranza di avere riscontri sul fronte elettromagnetico. Collins critica in più occasioni l'ossessione per la segretezza dei vertici della collaborazione, ma anche dal suo resoconto emerge quanto fosse dettata dall'esigenza di non fare passi falsi in un processo di scoperta divenuto assai complesso.

Una lettura non sempre facile, nonostante l'interesse che suscita leggere gli stralci di conversazioni di una comunità di scienziati sotto stress per una scoperta epocale, ma preziosa per chi vuole conoscere più da vicino la dinamica della ricerca e della scoperta scientifica nell'epoca delle grandi collaborazioni globali.

Marco Motta

Il tuo cervello è una macchina del tempo
di Dean Buonomano
Bollati Boringhieri, Torino, 2018,
pp. 332 (euro 24,00)

La biologia del tempo e un audace parallelo con la fisica

Non si limita a misurare il tempo: lo crea anche. Questa è la prima differenza tra il tuo cervello e un orologio. Poi, dopo averlo creato, ti permette di viaggiare indietro e avanti nel tempo, di avere ricordi e di fare previsioni: ci perdi in spensieratezza ma sei più bravo a pianificare.

Il cervello umano è una macchina complicata e Dean Buonomano, neurobiologo dell'Università della California a Los Angeles, lo conosce bene. Questo è il suo secondo libro sull'argomento dopo il bestseller *Brain Bugs. How the Brain's Flaws Shape Our Lives,* tradotto in molte lingue ma non nella nostra.

In *Il tuo cervello è una macchina del tempo*, Buonomano racconta le ricerche sulla biologia del tempo tentando un audace e interessante parallelo con la fisica. Per un neuroscienziato, spiega, il tempo è un costrutto mentale correlato alla realtà: il tempo esiste davvero fuori di noi, o meglio esiste solo il presente, e noi lo interpretiamo trattando il presente passato con la memoria e il presente futuro con l'immaginazione. Per il fisico il tempo ha un ruolo fondamentale, tanto che per qualcuno forse non esiste nemmeno. Tra psicologia e fisica si pone una domanda chiave: perché per noi il tempo non solo esiste ma per di più «scorre»? E perché la nostra capacità di mappare il tempo è decisamente più limitata di quella di mappare lo spazio? Oggi con le nostre tecnologie è vero il contrario, ma ci servono macchine esterne, orologi precisissimi. Mentre il nostro cervello immagina il tempo come un'unica strada senza biforcazioni, rotonde e incroci, ma non per questo riesce a orientarvisi in maniera più semplice di quanto faccia in una città.

La teoria di Buonomano è che la nostra capacità di valutare il tempo non abbia un circuito cerebrale a sé ma che tutte le parti del cervello partecipino alla sua costruzione in un certo senso «spazializzandolo». E che questo non avvenga con un *clock* neuronale, basato su oscillazioni come quello più semplice che ci dà il ritmo circadiano, ma con una dinamica neuronale: un insieme di pattern che funzionano secondo schemi di lettura particolari. È questo il motore della macchina del tempo passato e futuro che ci distingue (probabilmente) dagli altri animali. Uno strumento complesso e affascinante al centro di altri problemi scientifici di difficile soluzione: che cosa sia la coscienza, che cosa il libero arbitrio. Ma anche che cosa possiamo capire della natura e che cosa sia davvero, al di fuori di noi, l'oggetto tanto misterioso che chiamiamo tempo.

Silvia Bencivelli

I tratti geniali di Leonardo

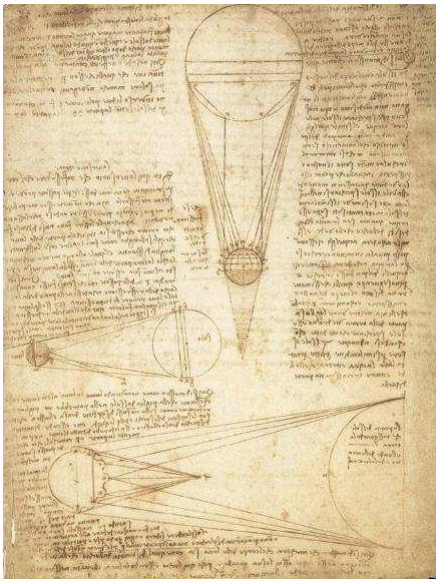
Gli Uffizi di Firenze si preparano alle celebrazioni per i cinquecento anni dalla scomparsa di Leonardo da Vinci esponendo una serie di suoi manoscritti

Firenze anticipa di un paio di mesi l'inizio delle celebrazioni per i 500 anni dalla scomparsa di Leonardo da Vinci, avvenuta nel 1519, e lo fa riportando in città, alle Gallerie degli Uffizi, il *Codice Leicester* già ospitato a Palazzo Vecchio nel 1982. Al centro della miscellanea di temi che tratta il volume ce n'è uno che emerge con costanza maggiore: l'acqua. Leonardo l'ha studiata lungamente, cercando di coglierne la natura, ma soprattutto cercando vie per sfruttarne l'energia e controllarne i potenziali effetti dannosi; un tema, quest'ultimo, che continua a essere di attualità in Italia nonostante l'avanzamento delle tecnologie rispetto al Rinascimento.

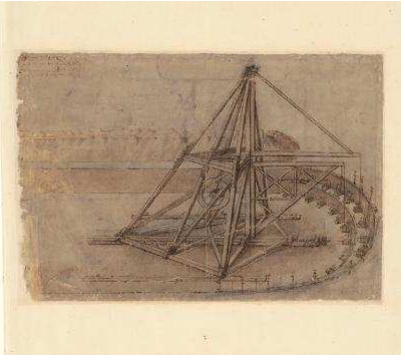
Il tema dell'acqua in Leonardo è protagonista a Firenze anche in *De moto et misura dell'acqua* proveniente dalla Biblioteca Apostolica Vaticana e di fogli del *Codice Atlantico* che illustrano il progetto della gru che doveva servire per le operazioni di scavo del mai realizzato canale navigabile tra Firenze e il mare. Leonardo, come illustrano i fogli del *Codice Arundel* prestati dalla British Library, aveva anche lungamente studiato il corso dell'Arno, annotando posizione e misura dei ponti allora esistenti, e corredando i disegni di appunti che sottolineano le analogie tra moto dei venti e delle acque, uno dei temi trattati nel Codice Leicester.

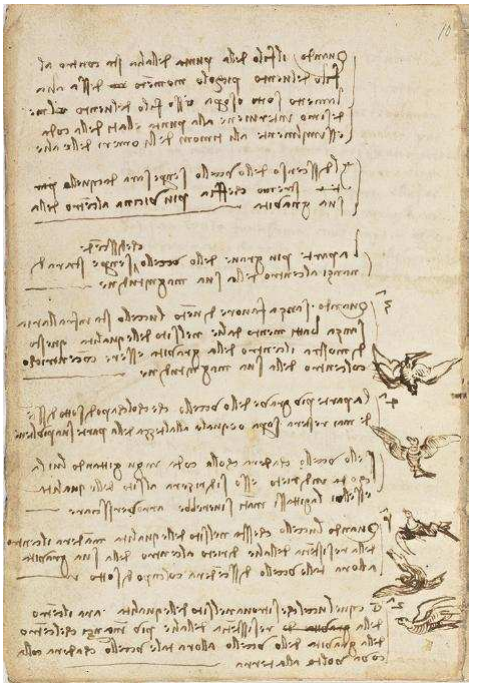
I 72 fogli del *Codice Leicester* sono stati redatti a Firenze principalmente tra il 1504 e il 1508, quando la città toscana era ricettacolo di intellettuali in tutti i campi, dalle lettere e le arti fino alle scienze. Una città talmente all'avanguardia che per definirla Benvenuto Cellini ha coniato lo slogan «La Scuola del Mondo». Nel suo soggiorno fiorentino, Leonardo compie anche una serie di studi di anatomia all'Ospedale di Santa Maria Nuova e progetta il dipinto della Battaglia di Anghiari che doveva decorare Palazzo Vecchio, ma non è mai stato realizzato. Per comprendere appieno la profondità dello studio leonardiano e il contesto storico e culturale in cui è immerso, la mostra, curata dallo storico della scienza e direttore del Museo Galileo Paolo Galluzzi, si avvale di un importante apparato tecnologico centrato su Codescope, uno strumento che permette di sfogliare i singoli fogli digitalizzati, apprezzandone tutti i dettagli. La mostra prosegue anche con una serie di video esplicativi che il museo ospita anche sul proprio sito.

Marco Boscolo



Manoscritti esposti a Firenze: dal *Codice Leicester* (*sopra e sotto*), dal *Codice sul volo degli uccelli* (*sotto a sinistra*) e dal *Codice Atlantico*.





Cortesia Bill Gates/@bgC3 (*a destra in alto in basso*); Biblioteca Reale, Torino (*sopra e accanto*)

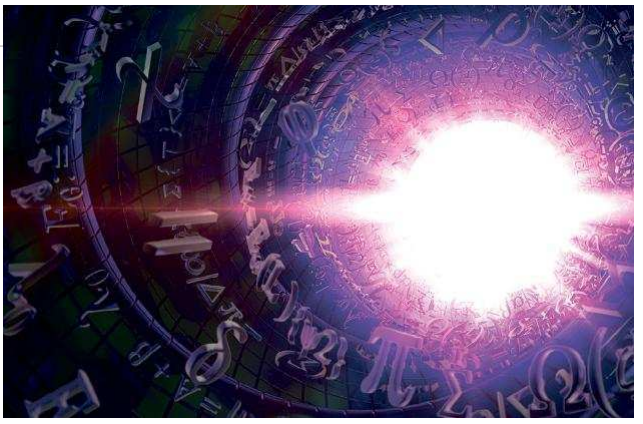
Dove & quando:

L'acqua microscopio della natura. Il Codice Leicester di Leonardo da Vinci
dal 30 ottobre 2018 al 20 gennaio 2019
Gallerie degli Uffizi
Piazzale Uffizi, 6 Firenze
www.uffizi.it

Il problema insolubile

di Toby S. Cubitt, David Pérez-García e Michael Wolf

Dopo tre anni di lavoro, un gruppo di matematici ha scoperto che una questione fondamentale di meccanica quantistica, il cosiddetto problema del gap spettrale, rientra nella categoria delle affermazioni che Kurt Gödel definì «indecidibili», vale a dire di cui è impossibile dimostrare se siano vere o false. Il risultato fa ritenere che anche altri problemi importanti possano essere indecidibili.



Dossier: lo stato della scienza mondiale 2018

di Roberto Defez, John P. A. Joannidis, Silvia Bencivelli, Shannon Palus, Graham A. J. Worthy e Cherie L. Yestrebsky

Per contrastare l'attuale crisi di fiducia nella scienza esistono numerose strategie, non ultima la necessità che la comunità scientifica si faccia carico di porre riparo ai propri problemi interni, dai sistemi di finanziamento alla riproducibilità dei risultati, dalle discriminazioni di genere all'interdisciplinarietà delle ricerche.

Click, bugie e videotape

di Brooke Borel

La rapida evoluzione delle tecnologie di intelligenza artificiale sta mettendo alla portata di tutti la possibilità di produrre video e audio falsi ma molto realistici, che secondo alcuni studi sarebbero particolarmente efficaci nel suscitare emozioni come la paura.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Andrea Lignani Marchesani
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - novembre 2018

Copyright © 2018 by Le Scienze S.p.A.
ISSN 2499-0590

Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief and Senior Vice President
Mariette DiChristina

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Francesca Bernardis: *L'evoluzione della nostra unicità, Darwin in città, L'origine della moralità;* Silvio Ferraresi: *Il problema più difficile, I circuiti del cervello umano sono speciali?* Eva Filoramo: *Perché combattiamo;* Daniele Gewurz: *Soli nella Via Lattea*; Lorenzo Lilli: *Tecno sapiens, Le nostre controfigure digitali;* Alfredo Tutino: *Dentro le nostre teste, Parole che scavalcano il tempo, L'ultimo rimasto.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
GEDI Distribuzione S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Ufficio abbonamenti e Servizio Grandi clienti
Tel. 0864.256266
Fax 02 26681991

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8467 del 21/12/2017

Mark Ross Studios (*problema*); Taylor Callery (*occhio*)

OGNI MESE LE FRONTIERE DELLA SCIENZA A CASA TUA

ABBONATI A LE SCIENZE CON QUESTA IMPERDIBILE PROPOSTA SPECIALE

Più aumenta la durata, più aumentano i vantaggi

- **Risparmio esclusivo** con sconti fino al 44%
- **Consegna a domicilio** e non perdi neppure un numero
- **Archivio senza limiti** dal 1968 su www.lescienze.it

1 ANNO
€39,00
~~€58,80~~
SCONTO del 34%

2 ANNI
€75,00
~~€117,60~~
SCONTO del 36%

3 ANNI
€99,00
~~€176,80~~
SCONTO del 44%

Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
o telefona al numero 0864.25.62.66

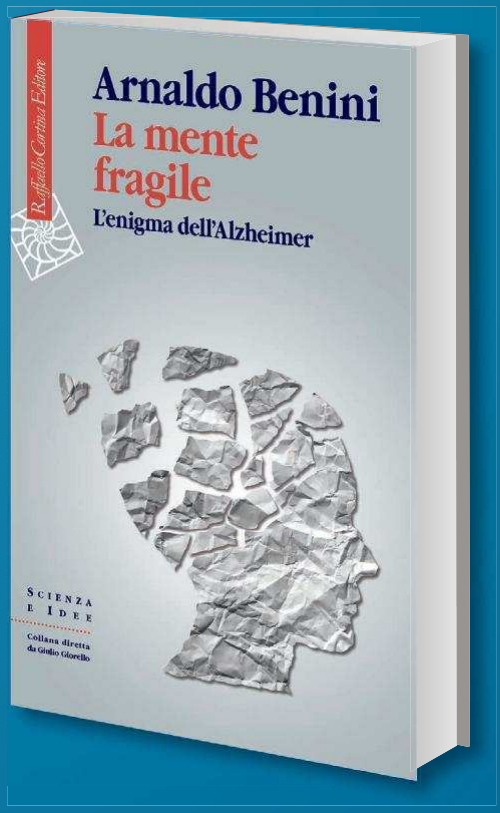
Le Scienze

Raffaello Cortina Editore

L'essenza della rivoluzione scientifica, da un maestro della divulgazione

La scoperta che ha cambiato l'astronomia

Creare giardini, usare metafore, cantare canzoni: la creatività nel corso della storia



Esiste una cura per la memoria?

www.raffaellocortina.it